



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA FUSION DE
GRAFITO EN LA OBTENCION DE FULLERENOS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
JOSE MANUEL ARELLANO RAMIREZ
FELIPE DE JESUS BRISERO RAMIREZ

ASESOR: ING. JOSE ANTONIO LOPEZ GONZALEZ
COASESOR: O. JESUS FERNANDEZ MADRIGAL

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



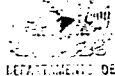
UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

CITE A: M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .



AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Cevallos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño de un reactor para la fusión de grafito en la
obtención de fullerenos".

que presenta el pasante: José Manuel Arellano Ramírez
con número de cuenta: 8515111 - 0 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 10 de Junio de 1996

PRESIDENTE	Ing. Marco Antonio Alarcón Ramírez	<i>[Firma]</i>
VOCAL	Ing. José Antonio López González	<i>[Firma]</i>
SECRETARIO	Ing. Daniel Hernández Peirce	<i>[Firma]</i>
PRIMER SUPLENTE	Ing. Daniel Benítez Espás	<i>[Firma]</i>
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Emilio Juárez Martínez	<i>[Firma]</i>



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Caballeros
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño de un reactor para la fusión de grafito en la
obtención de fullerenos".

que presenta el pasante: Felipe de Jesús Briseño Ramírez
con número de cuenta: 8427072 - 8 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 10 de Junio de 1996

PRESIDENTE Ing. Marco Antonio Alarcón Ramírez

VOCAL Ing. José Antonio López González

SECRETARIO Ing. Daniel Hernández Pecina

PRIMER SUPLENTE Ing. Daniel Sonilla Santián

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Emilio Juárez Martínez

D E D I C A T O R I A S

No digas que no puedes hacer nada por el bien de los demás.

"Cuántos mudos pagarían una fortuna para poder hablar como tú"

"Cuántos paralíticos quisieran poder dar los pasos que tú das"

"Cuántos millonarios te entregarían sus riquezas por tener la décima parte de tu fe"

"No digas que no puedes hacer nada"

Comparte los bienes que Dios te dio, con actitudes de amor y palabras de cariño. Es así como Dios nos salva, no borrando nuestras miserias, sino enseñándonos a caminar.

Doy gracias a mis padres, hermanos, amigos y demás personas que son parte de mi vida, que en momentos difíciles y de duda, me han brindado una actitud animadora, una palabra oportuna, una sonrisa y un pensamiento generoso de fe y esperanza.

Es ahora que deseo compartir con ellos mi alegría al ver terminada esta tesis y buscar la meta que tanto anhelamos.

"Que Dios nos bendiga"

OBJETIVOS GENERALES:

a) Dar seguimiento e incentivar a desarrollar el diseño de un reactor , para la fusión de grafito por medio de un arco eléctrico en condiciones de vacío. A partir de barras de grafito como materia prima fundamental para la obtención de fullerenos.

b) Presentar de forma gráfica el reactor E, en el cual se pretende mostrar las modificaciones e implementaciones hechas en el presente trabajo; para así obtener la materia prima necesaria y signifique un avance tecnológico.

INTRODUCCIÓN

El actual trabajo, presenta información sobre el método de síntesis que se utiliza para la obtención de la nueva forma de carbono, ya que en este se basa la evolución de los diferentes sistemas para la obtención de fullerenos y el método más adecuado para producirlo que es por medio de arco eléctrico, en que orden se han presentado los reactores que usan este método. El trabajo de investigación pretende mostrar las características y la información técnica de los diferentes tipos de reactores de fusión de grafito por medio de arco eléctrico; así como el desarrollo de un nuevo diseño mostrando las modificaciones e implementaciones en el reactor E, el cual representa una alternativa que busca mejorar la eficiencia para transformar la materia prima (Varillas de grafito). El diseño del reactor E se desarrollo a través de tres sistemas los cuales son:

- Sistema de vacío. En cual se diseña la envolvente y características que debe cumplir, basado en el método ASME y la designación del material.
- Sistema de alimentación. El cual en global parte de la cámara de vacío en la que se diseña la tapa en la cual se monta la mirilla por la cual se intercambia las varillas de grafito, los sujetadores y las flechas conductoras de corriente. Todos estos movidos por un actuador neumático que se coloca externamente.
- Sistema de fusión. El cual comprende la fuente de c.d y c.a, además de las flechas conductoras tanto fija como móvil.

La presentación del diseño se presenta de manera gráfica en el capítulo 3 , así como el procedimiento y el calculo correspondiente de los sistemas antes mencionados. Por último se presentan las conclusiones de la investigación y un apéndice de tablas y gráficas. Los encabezados con letra cursiva representan la innovación en el reactor "E".

ÍNDICE

PÁGINA

CAPITULO 1

UNA NUEVA FORMA DE CARBONO

1.1	CARBONO ELEMENTO ESENCIAL.....	1
1.2	NUEVA FORMA DE CARBONO (C ₆₀ Y C ₇₀) LLAMADA FULLERENOS.....	3

CAPITULO 2

LA FUSIÓN DEL GRAFITO

2.1	MÉTODO DE SÍNTESIS	10
2.3	CRONOLOGÍA DE LOS DIFERENTES REACTORES EN LA FUSIÓN DEL GRAFITO	14
2.2.1	REACTOR A	14
2.2.2	REACTOR B	17
2.2.3	REACTOR C	20
2.2.4	REACTOR D	23

CAPITULO 3

DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA FUSIÓN DE GRAFITO EN LA OBTENCIÓN DE FULLERENOS

3.1	REACTOR "E", MODIFICACIONES E IMPLEMENTACIONES.....	25
3.2	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA EQUIPO DE PROCESO	27
3.3	MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES	27
3.3.1	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN	28
3.3.2	RESISTENCIA DE MATERIALES	28
3.4	PARÁMETROS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE	31

3.5	PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE VACIO	34
3.5.1	ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN	34
3.5.1.1	Cargas	34
3.5.1.2	Esfuerzos	34
3.5.1.3	Esfuerzo máximo permisible	35
3.5.1.4	Esfuerzos en cascos cilindricos	35
3.5.2	TEMPERATURA DE DISEÑO	37
3.5.3	REQUISITOS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE OPERANDO A PRESIÓN EXTERNA	37
3.5.3.1	Requisitos de espesor de la envolvente	39
3.5.3.2	Método ASME	42
3.5.3.3	Calculo del espesor de de la envolvente	47
3.5.4	REQUISITOS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE OPERANDO A PRESIÓN INTERNA	50
3.5.4.1	Requisitos del espesor de la envolvente	50
3.5.4.2	Definición de fórmulas y Nomenclatura	51
3.5.4.3	Requisitos de presión para la envolvente	53
3.5.4.4	Calculo del espesor de la envolvente	55
3.5.5	REQUISITOS DE DISEÑO DE ORIFICIOS PARA LA ENVOLVENTE	57
3.5.5.1	Diseño del orificio donde se coloca la tapa con mirilla	57
3.5.5.2	Diseño de los orificios superiores por los que se genera el vacío	58

3.5.5.3	Longitud mínima del cuello exterior de los orificios	59
3.5.6	DISEÑO DEL AUMENTO DE MATERIAL	59
3.5.7	REQUISITOS DE DISEÑO DE CABEZAS PLANAS PARA LA ENVOLVENTE SUJETA A PRESIÓN INTERNA Y EXTERNA	60
3.5.7.1	Nomenclatura	60
3.5.7.2	Requisitos del espesor	61
3.5.7.3	Calculo de la tapa plana para la envolvente	62
3.5.7.4	Calculo de la tapa plana para el cuello de la envolvente	64
3.5.7.5	Requisitos de diseño de orificios en tapas planas	66
3.5.7.6	Longitud mínima del cuello exterior para los orificios	66
3.5.8	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	67
3.5.8.1	Condiciones que presenta el reactor E	67
3.5.8.2	Serpentines	68
3.5.8.3	Tubo de cobre tipo K	68
3.5.8.4	Coficiente en los tubos	68
3.5.8.5	Beneficios del sistema de refrigeración	68
3.6	PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	69
3.6.1	REQUISITOS PARA EL CONTROL POR NEUMÁTICA	69
3.6.1.1	Teoría de la neumática	69
3.6.1.2	Razones para utilizar la neumática	69

3.6.1.3	Condiciones sobre el proyecto de mandos neumáticos	70
3.6.1.4	Orientación para el proyecto	70
3.6.2	APOYOS AISLADOS	72
3.6.2.1	Flecha conductora móvil	72
3.6.2.2	Flecha conductora fija	74
3.6.3	BENEFICIOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	74
3.7	PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE FUSIÓN	75
3.7.1	PARTES MECÁNICAS (APOYOS AISLADOS)	75
3.7.1.1	Flecha conductora fija	75
3.7.2	ALIMENTACIÓN DE LA CORRIENTE PARA GENERAR EL ARCO ELÉCTRICO	76
3.8	PIEZAS NO CALCULADAS PARA SU DISEÑO	76
3.9	DISEÑO DE SOPORTES	77
3.9.1	SOPORTE O SILLETA DEL REACTOR E	77
3.9.2	SOPORTE DEL CILINDRO NEUMÁTICO	79
3.10	ANÁLISIS DEL DISEÑO PROPUESTO.....	79
 PLANOS		
CONCLUSIONES		
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICE (TABLAS Y GRÁFICAS)		

CAPITULO 1

UNA NUEVA FORMA DE CARBONO

El carbono es un elemento esencial en nuestra vida. La mayor parte de la energía que nuestros cuerpos necesitan proviene de la oxidación del carbono y todos los organismos requieren de este elemento para su subsistencia.

Las plantas lo obtienen del dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera, las cuales a través de la fotosíntesis, transforman el CO_2 y el agua en carbohidrato. Los animales a su vez consumen los carbohidratos y regresan el carbono a través de la exhalación.

A esta cadena de intercambio de carbono que une la vida vegetal y animal se le conoce como el ciclo del carbono. Dada la importancia de este elemento, no es sorprendente que un gran número de investigadores se dedique al entendimiento de sus propiedades y la de sus compuestos.

El carbono es un elemento con gran capacidad para ligarse químicamente a otros átomos, tanto de carbono mismo como de otros elementos. Las características que los distinguen es que sus compuestos toman forma de cadenas o de anillos.

Es tan rica la variedad de sus compuestos que a la fecha se estiman que se han sintetizado un millón y se siguen preparando más cada día.

Los electrones que participan en los enlaces químicos son conocidos como electrones tipo *s* y *p*, los cuales tienen la propiedad de formar enlaces en direcciones bien definidas.

Tan importantes son los complejos moleculares de carbono como los sistemas sólidos que forma. Las estructuras cristalinas de carbono que se conocían eran dos:

- El diamante.
- El grafito.

Las propiedades de estas dos formas de carbono sólido se conocen bien y tienen aplicaciones diversas. El diamante es un arreglo periódico en la que cada átomo está ligado a otros cuatro en forma tetraedros regulares.

La gran direccionalidad de los enlaces químicos se hacen aparentes en este arreglo cristalino. Además de su belleza, la propiedad más apreciada del diamante es su dureza; es el material más duro encontrado en la naturaleza.

Estas características lo hacen ideal para fabricación de utensilios finos para cortar, pulir y triturar. A pesar de lo que podría pensarse, los diamantes puros son incoloros y transparentes; los colores que los hacen tan codiciados como joyas provienen de pequeñas impurezas. Otra característica del diamante, es que conduce deficientemente el calor y la electricidad.

El grafito es un arreglo cristalino anisotrópico, en el cual tres de los enlaces químicos forman capas con estructura hexagonal unidas débilmente una con otra. Esto da origen a una estructura laminar en la que se pueden separar con gran facilidad los planos. La aplicación de esta propiedad tiene lugar en lubricantes secos y en puntas de lápices, en contraste con el diamante, el grafito conduce con relativa facilidad el calor y la electricidad.

1.2

NUEVA FORMA DE CARBONO (C_{60} Y C_{70}) LLAMADA FULLERENOS.

En 1990 este panorama cambió al sintetizarse otro tipo de carbono sólido completamente diferente al grafito y al diamante. Este, en contraste con las otras dos formas sólidas, tiene como unidades no solo un átomo sino moléculas gigantes de 60 átomos de carbono ubicadas en una red cúbica. A este arreglo cristalino se le conoce como C_{60} sólido.

En la figura 1 se muestran las tres estructuras cristalinas del carbono.

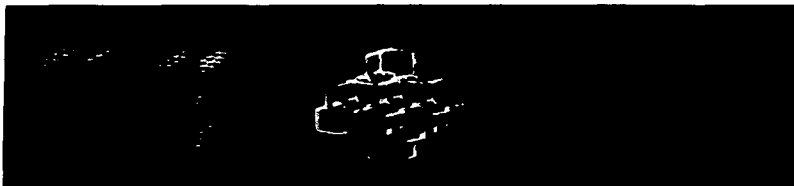


FIGURA 1. Las tres formas cristalinas del carbono:

a) Grafito

b) Diamante

c) C_{60} en una red
cúbica.

El descubrimiento de esta nueva forma de carbono a generado una gran actividad científica entorno a su producción, caracterización y estudio de sus propiedades. Sin duda, este hallazgo marca el inicio de una nueva era en la química del carbono y abre un importante campo en la ciencia de materiales.

La molécula C_{60} se había producido en 1984 por Rohlifing et al. e identificado en 1985 por Kroto y el grupo de la Universidad de Rice; sin embargo, no había sido posible sintetizarlo en cantidades suficientes para su total caracterización.

Las personas que descubrieron el método de síntesis fueron investigadores del Instituto de Física Nuclear Max Planck en Heidelberg, Alemania; Wolfgang Krätschmer y su estudiante Konstantinos Fostiropoulos. A partir de la publicación de la técnica de la preparación, varios grupos han sintetizado este nuevo material y han estudiado muchas de sus propiedades, algunas de ellas completamente inesperadas.

Curiosamente más no del todo raro en descubrimiento de la molécula del C_{60} fue motivado por estudios de la materia interestelar.

En el año de 1968 Charles Townes, uno de los ocho premios Nobel que trabajan en la Universidad de California en Berkeley, demostró que las nubes oscuras dispersas en la Vía Láctea están formadas por moléculas algunas de ellas con una estructura compleja. Este descubrimiento significó para los químicos la posibilidad de estudiar en esa enorme muestra, la materia interestelar, la existencia de moléculas producidas en las estrellas que probablemente que con el paso del tiempo formarán parte de planetas similares al nuestro.

Harry Kroto, profesor de la escuela de Química y Ciencias Moleculares, de la Universidad de Sussex en Brighton, Inglaterra, y especialistas en la química del carbono, se propuso investigar la existencia de moléculas largas de C, del tipo HC_n , en la materia interestelar.

La molécula mayor que se había detectado cuando él inició sus investigaciones era HC_3 .

Después de una exitosa colaboración con radioastrónomos Canadienses detectó moléculas con 5, 7 y 9 carbonos. Para ese tiempo, éste fue un descubrimiento importante ya que por primera vez se observaban cadenas tan largas de carbono en la materia interestelar.

Sin duda, detectar la presencia de esas moléculas era un hecho importante, pero tal vez más importante aún era descifrar cómo se producen y de dónde provienen. Kroto especulaba sobre el posible mecanismo de formación y pensaba que esas moléculas podrían generarse en las estrellas rojas gigantes, de las cuales se sabe que emiten bastas cantidades de materia en forma de cadenas y cúmulos.

En 1984, Kroto conoció a Rick Smalley en una visita a la Universidad de Houston, Texas. Este último se dedicaba al estudio de pequeños cúmulos de materiales semiconductores y se había especializado en su producción. La sofisticada técnica de síntesis puede resumirse de la siguiente manera:

Una muestra conteniendo el elemento del cual se desea formar los cúmulos se calientan abruptamente con rayos láser. Al aumentar súbitamente la temperatura de la muestra se evaporan sus átomos formando así un gas de átomos y electrones (plasma).

Después se transporta el plasma con Helio inyectado a alta presión, formando un haz supersónico. Finalmente, este se hace expandir, proceso en el cual se enfría el plasma y los átomos se condensan en pequeños aglomerados.

Como resultado se obtienen cúmulos con una gran variedad de tamaños y estructuras las cuales se pueden separar por técnicas especiales de acuerdo con su masa (número de átomos en el cúmulo).

Esta técnica de separación de masas permite analizar cuántos cúmulos y de qué tamaño se han formado.

Al conocer Kroto el mecanismo mediante el cual se conocían en el laboratorio los cúmulos atómicos, pensó que al poner como blanco una muestra de grafito se podría simular el tipo de química que tiene lugar en la atmósfera de las estrellas.

De esta manera se podrían producir, bajo condiciones controladas, las largas cadenas observadas en la materia interestelar y explicar, tal vez, algunas de las incógnitas de esos objetos celestes.

Entre la fecha en que Kroto hizo la propuesta y la realización de los experimentos en Rice, un grupo de investigadores de la compañía Petrolera Exxon vaporizó carbón de una muestra de grafito. Como resultado de tales experimentos estos investigadores observaron en la formación de una nueva familia de cúmulos de carbono con un número de átomos que varía entre 30 y 190.

La particularidad de tales observaciones fue que sólo cúmulos formado por un número par de átomos fueron detectados.

En septiembre de 1985, 18 meses después de la propuesta fue posible interrumpir el programa de semiconductores que tenía ocupado el equipo de Smalley y realizar los experimentos de carbono. Kroto y sus colaboradores Texanos obtuvieron un espectro de masas que corroboraba los resultados previos del grupo de Exxon; sólo cúmulos con un número de par de átomos de C de habían formado. Además, encontraron que los resultados mostraban una clara abundancia de cúmulos de 60 átomos y en menores cantidades, pero igualmente importante, la presencia de cúmulos de 70 átomos. Los resultados experimentales se muestran en la figura 2.

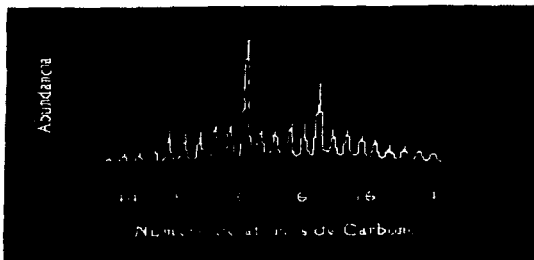


FIGURA 2. Abundancia de los cúmulos de C como función de su masa mostrando la presencia de C_{60} , C_{70} y otros Fullerenos.

Aquí se gráfica la abundancia de los cúmulos como función del número de átomos. Los picos que sobresalen son los correspondientes a C_{60} y C_{70} .

El experimento fue repetido varias veces bajo diferentes condiciones experimentales. Como resultado se obtuvo la confirmación, sin lugar a dudas, de la presencia de C_{60} . Ahora el siguiente problema a resolver era: ¿ Cual es la estructura geométrica de ese agregado de 60 átomos ? Después de varios días de discusión y dada la gran estabilidad de las moléculas, que mostraban una reactividad casi nula, llegaron a la conclusión de que la estructura podría ser un esferoide.

Una estructura de este tipo eliminaría los enlaces no saturados y arreglos planares del tipo del grafito y le daría una estabilidad observada.

Recordando la estructura geodésica construida por el Arquitecto Buckminster Fuller para el gobierno de los Estados Unidos en la Expo'67 de Montreal Canadá, Kroto propuso que la estructura de C_{60} podría ser algo similar formado por hexágonos y pentágonos.

Una estructura con tales características y 60 vértices es la de un icosaedro truncado (figura 3).

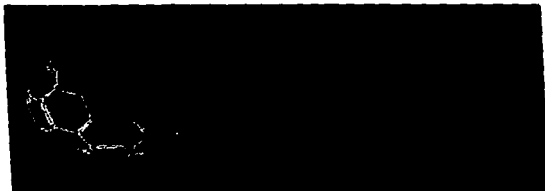


FIGURA 3. Moléculas con 60 y 70 átomos de carbono.

CAPITULO 2

LA FUSIÓN DEL GRAFITO

2.1 MÉTODOS DE SÍNTESIS.

Desde el primer reporte donde se observa la presencia de un ion molecular consistente de 60 átomos de carbono, cuando una barra de grafito fue radiada por un rayo láser pulsante, a la fecha se han desarrollado una serie de métodos para una producción, los cuales se clasifican según la energía de origen, de la siguiente manera:

1. Vaporización de carbón por láser pulsado
2. Calentamiento resistivo de electrodos de grafito
3. Descargas por arco eléctrico en electrodos de grafito
4. Generación a la flama
5. Hornos solares

Describir cada uno de estos métodos en forma detallada extendería demasiado el trabajo.

Por ello, solo tomaremos el marcado por el número 3 para ilustrar la síntesis de los fullerenos y el resto serán mencionados en forma breve.

1. **Vaporización de carbón por láser pulsado.** Esta técnica fue utilizada por Kroto, et al.⁽¹⁾⁽²⁾, siendo los primeros en identificar al C_{60} , éste procedimiento se utilizó en estudios previos de cúmulos de carbón. El método dicho en forma breve, consiste en calentar abruptamente un disco de grafito para formar los cúmulos deseados. Al aumentar la temperatura de la muestra se evaporan sus átomos formados así un gas de átomos y electrones (plasma).

Después se transporta el plasma con helio inyectado a alta presión, formando un haz supersónico. Finalmente, éste se hace expandir, proceso con el cual se enfría en el plasma y los átomos se condensan en pequeños aglomerados.

Como resultado se obtienen cúmulos con una gran variedad de tamaños y estructuras, los cuales se pueden separar por técnicas especiales.

- 2. Calentamiento resistivo de electrodos de grafito.** Este método fue empleado por Taylor, et al.⁽¹⁾⁽²⁾, procediendo de la siguiente manera: barras cilíndricas de grafito son calentadas resistivamente en una vasija donde se deposita el humo del carbón formado bajo una atmósfera de Ar entre 0.005-0.010 MPa (50-100 mbars).

La producción tiende a ser un poco variable. El material sólido negro parecido al hollín es colectado raspando todas las partes del aparato.

Cuando este material se coloca en benceno con facilidad da nacimiento a una solución roja que puede ser decantada del material negro insoluble parecido al hollín.

Usando esta misma técnica, Ajie, et al.⁽¹⁾⁽²⁾, reportan resultados con un alto rendimiento de producción 14 % de material soluble bajo condiciones óptimas, consistente de C_{60} y C_{70} en cantidades medibles. El objetivo de ello es la caracterización de estos compuestos.

- 3. Descargas por arco eléctrico en barras de grafito.** el método fue reportado por Haufler, et al.⁽³⁾ y consiste en una ligera modificación de la técnica presentada por Krätsmer, et al., logrando una mayor eficiencia de producción de C_{60} .

Resultando ser 10 % del material soluble en tolueno sobre el peso del hollín colectado.

En la búsqueda de aumentar el rendimiento en la producción de fullerenos mediante esta técnica, se presentan una serie de modificaciones al método sin lograr mayor efectividad que Haufler, et al., Sin embargo, Parker, et al.⁽⁶⁾, reportan un método para la generación de fullerenos en el cual da mucho mayor rendimiento (44% del extracto) a baja potencia tiene implicaciones económicas significativas por el volumen de producción de fullerenos, no obstante el costo del dispositivo. El reactor y el procedimiento no se describe aquí, se sugiere consultar el capítulo 2, inciso 2.2.

4. **Generación a la flama.** De observaciones realizadas en la combustión de hidrocarburos de la presencia de fullerenos, Howard, et al.⁽⁷⁾, reproducen esta técnica y toman muestras de compuestos condensables y de hollín de la combustión de hidrocarburos bajo ciertas condiciones y analizadas bajo las técnicas convencionales en la detección de fullerenos.

El rendimiento del hollín obtenido es del orden siguiente: 0.2-12 % del carbón alimentado, basado en la información de la temperatura de la flama y la composición del gas, la masa del hollín y el volumen del gas colectado con la prueba del hollín en las diferentes flamas.

5. **Hornos solares.** El método que más recientemente se ha propuesto para la síntesis de fullerenos en forma eficiente, es el que utiliza luz solar para la vaporización directa del carbono. Chibante et al.⁽⁸⁾, Para ello, se han implementado

hornos solares de este proceso y puede ser el único en su género capaz de producir fullerenos y fullerenos dopados evitándose así los problemas limitantes del rendimiento encontrados con los métodos antes descritos. Formación de fullerenos en un flujo solar altamente concentrado.

De los diversos métodos disponibles para producir fullerenos; uno de los más interesantes usando rayos de sol altamente concentrados para vaporización del grafito. Se tienen muestras en recipientes de experimentos; Como los del grupo de la Universidad de Rice, el cual este método puede efectivamente producir este material. Los 10 Kw del horno solar en el laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) fue usado con un cambio de reacción librar las esferas de grafito, de un flujo solar de 1200 W/cm^2 . Los resultados del análisis del hollín de la masa espectral y el HPLC fue confirmado la existencia de los fullerenos.

Varios de los métodos de evaporación de grafito son usados para producir grafito. Algunos de los más recientes métodos de vaporación tienen pruebas usando rayos de sol concentrados. El método fue reportado en esta publicación, por ser perfeccionado por un grupo de la Universidad de Rice con un concentrador solar. Más recientemente, se tienen fullerenos formados de un madero altamente concentrado por el sol, en el NREL norma solar. Los experimentos afirman, que tienen confirmado el aspecto de los fullerenos en el hollín puede ser producido eficientemente usando rayos de sol concentrados, cuando el sol es una fuente de energía. Este es capaz de generar un máximo de 10 KW de rayos de sol concentrados, fuera del eje designado.

2.2 **CRONOLOGÍA DE LOS DIFERENTES REACTORES EN LA FUSIÓN DE GRAFITO.**

2.2.1 **REACTOR A.**

La figura 4, presenta un diagrama esquemático del generador de C_{60} usado en éste estudio. Aquí la varilla de 6 mm de grafito esta en contacto con un disco de grafito que avanza con un movimiento rápido pero suave.

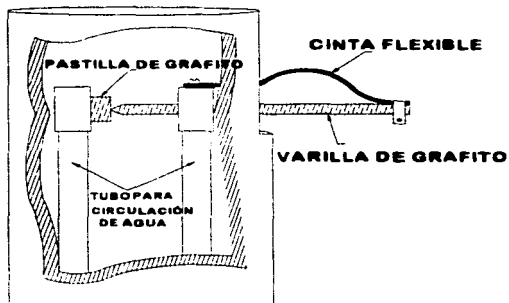


FIGURA 4. Reactor A.

El medio circulante sobre las paredes de cobre es agua fría formando una ventilación en una colección de cilindros de 80 mm, por 150 mm de longitud.

Este aparato está contenido en un standard de 152.400 mm (6 Pulg) seis pasos de UHV mezcla inicialmente con 0.000133 Pa (10^{-6} Torr) a 50 L s^{-1} de la bomba de vacío, pero al estar cerca de los 0.0133 MPa (100 Torr) de presión de helio con un bombeo lento de un pequeño mecanismo giratorio.

La conexión de la varilla y el disco de grafito es a una fuente de poder de corriente alterna (60 Hz); se fijan con grapas de cobre que se muestran en la figura y los 2 tubos de agua helada que se alimentan constantemente para su ventilación.

La evaporización del grafito fue entonces efectuado por impulsos de corriente que van de 100 a 200 amperes entre los dos electrodos y aún voltaje de 10 a 20 volts.

El movimiento de la tensión es ajustada para mantener el área de contacto entre estos 2 electrodos de grafito, la capacidad para generar el arco es disipado en el área de contacto y no en la resistencia óhmica, provocando un calentamiento en la varilla.

Le llamaron contacto de arco puesto que fue claro que la óptima operación ocurrió cuando los electrodos fueron ajustados y apenas susceptibles.

Generalmente los procedimientos de partida del aparato fueron facilitados con la afinación de la varilla de grafito de 6 mm con una punta cónica.

A nuestro conocimiento el primer uso de este arreglo fue publicado por Krastschmer, Sorg y Huffman, en su estudio de la

matriz de carbón hecha por este grupo.

En la designación de parámetros los 6 mm de la varilla de grafito fue vaporizada a la razón de 10 gramos por hora (gr/hr).

En práctica en un horno se moldea rápidamente el depósito alrededor del punto de contacto y es removido periódicamente.

Ellos sospechaban que un mejor arreglo había sido el uso de dos varillas de 6 mm empujándose mutuamente una contra otra, bajo control por computadora, regulando corriente y voltaje de alimentación en una simetría completamente designada.

Después de unas pocas horas de operación del generador el producto obtenido es aproximadamente 10 gr de grafito negro o recubrimiento de hollín que había sido reunido en las superficies del tubo de cobre donde circula el agua fría.

Después de la extracción se deja 3 hrs. con cocción de tolueno, del cual se obtuvo un líquido oscuro con coloración roja y café, el cual fue recobrado por separación del solvente en un evaporador rotatorio, produciendo un polvo negro, típicamente y cuantitativamente a 10, \pm 2 % del original hollín de grafito (cenizas de grafito).⁽⁵⁾

2.2.2 REACTOR B.

El diagrama a escala del aparato usado para el proceso del carbón se da en la figura 5. La evacuación del agua fría en al cilindro de acero inoxidable de 280 mm por 80 mm de diámetro interior (115 mm de diámetro exterior) fue ajustado para dos electrodos de grafito (50 mm de longitud por 5 mm de diámetro del tipo E430) a una presión ajustada que tiene dentro del cilindro el carbón, el cual puede ser movido horizontalmente por un tornillo.

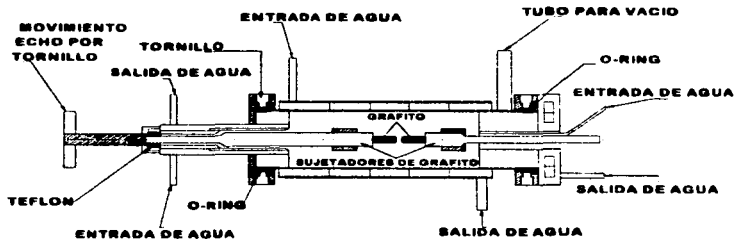


FIGURA 5. Reactor B.

corriente alterna (a.c), unidades de potencia que se suministra para la fusión.

El gas fue introducido por una vía de nitrógeno líquido dentro de la red del cilindro y la presión fue mantenido a 0.00665 MPa (50 Torr) por bombeo (velocidad de flujo cerca de 133 Pa/s (1 Torr/ s), por vía adicional de la red de nitrógeno líquido.

En un principio, las varillas son ligeramente separadas, la energía suministrada es activada y el boquete entre las varillas se redujo lentamente hasta quitarse el arco, si la varilla toco virtualmente al material este se evapORIZA, el arco es mantenido por 25 segundos y dentro del tiempo, el par de varillas sobreviven 5 segundos, de tal manera que las descargas son repetidas con intervalos de 2 minutos, lo que permite el enfriamiento del cilindro. Los resultados del deposito de carbón fueron fragmentos, que se encontraban en el interior del cilindro, con una carga de 2.50 gr. de material recolectado, de una cantidad de 4 varillas fundidas de grafito.

La total operación tomo de 1 a 2 horas de trabajo, en parte la muestra de carbón es enriquecida utilizando algunos procedimientos como son los taladros axiales de varillas (15 mm de diámetro y 200 mm de ancho) empaquetados con 99 % de energía enriquecida de carbón (Aldrich). El producto soluble es extraído por el método Soxhlet, usando HCCl, caliente.

La extracción fue aceptada por ser completa (4hrs), cuando el material rojo es quitado desde la cavidad de la camara Soxhlet, subsecuentemente se remueve con el solvente, dentro del vacío se produce 150 mg. de sólido conteniendo el ClC_{60} y C_{70} , con una proporción de 5 a 1, estimada por NMR Spectroscópico.

Sucesivamente el lote de grafito procesado puede ser extraído, con una única carga de HCCL, (25 ml), esto es una dona granular, depositada y precipitada gradualmente desde la solución, la cual puede ser removida por una filtración.

La importancia del extracto soluble depende del tipo de las varillas del grafito, por que rutinariamente constituye cerca del 5 % al 10 % del total de la masa.

El extracto concentrado es contenido por una columna cromatográfica usando una alumina neutral (Woelm, grado de activación 10, 25 mm de diámetro interno por 360 mm de longitud); éste proceso presenta ciertas dificultades.

La solubilidad de los Fullerenos en este solvente es muy bajo, así que el toque hacia arriba de la solución es mala y extremadamente baja.

Los Fullerenos son separados usando solventes (e.g benzeno y HCCL₂), dentro del cual son más solubles, el problema que se presenta con la introducción del HCCL₂ solución de los Fullerenos, es que son evaporados por sequedad en presencia de una solución silica y los resultados de las mezclas son aplicadas para el techo de la columna.

La solución con hexéno produce bandas de colores; el primero color magenta, consistió en los Fullerenos puros C₆₀ y el segundo color rosa, una mezcla de Fullerenos de C₆₀ y C₇₀, el color que toma la película es por éste último. La presencia de los Fullerenos C₆₀ en los Fullerenos C₇₀ encima de las bandas, es aparentemente por la forma de continuos lentos en la columna.

2.2.3 REACTOR C.

La preparación de Fullerenos con un simple reactor Benchtop.

La síntesis de Buckminster Fullereno, C_{60} reto de un interesante desafío para el organismo químico, los Fullerenos son correctamente preparados al ser descompuestos en máquinas que son del dominio de la Fisicoquímica, Físicos, científicos en materiales e Ingenieros Mecánicos.

Básicamente, un arco entre dos varillas de grafito que es fundido con una intensidad de 60 a 150 amperes, en una atmósfera de He 0.0133 MPa (100 Torr) en un material que es comercial que es evaporado.

La descomposición da por resultado hollín que es reunido, extracto con tolueno y separado con cromatografía.

Una muy complicada máquina, para una preparación más eficiente, en la cual 2 varillas de grafito de 6.350 mm (1/4 de pulg), son puestas horizontalmente y el contacto esta dado por un mecanismo manual de tornillo.

Más recientemente, la mezcla para Fullerenos (extracto de hollín), fue hecha para su comercialización, aún con una estimación relativamente grande.

A continuación se describe un reactor para Fullerenos (Benchtop), que es ensamblado fácilmente con piezas comerciales y un mínimo de máquinas de taller (costo total, partes y trabajo de máquinas \$ 700 dls.).

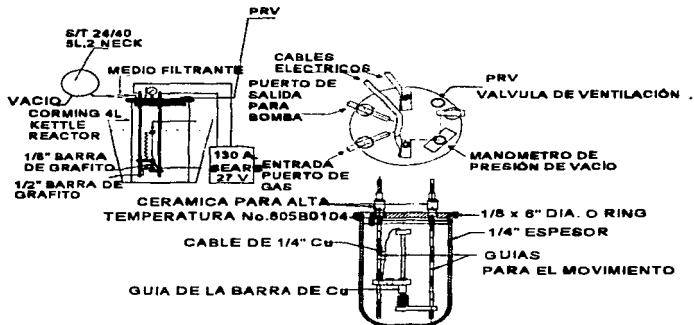


FIGURA 6. Reactor C.

El aparato es esquematicamente mostrado en la figura 6.

- a) El grafito es alimentado por gravedad.
- b) El hollín esta todo ordenado y contenido en una basija.

Con este aparato se muestra la habilidad para preparar 0.5 grs. de hollín de extracción diaria (equivalente a 0.5 grs de C_{60}), esto es usando varillas de 3.175 mm (1/8 Pulg) de diámetro, y en el fondo una varilla de grafito de 12.700 mm (1/2 Pulg) de diámetro. Todo este proceso toma aproximadamente 10 minutos, en quemarse 152.400 mm (6 Pulg) de grafito cuando la corriente es de 55 amperes y por espacio de 20 minutos en el aparato, el cual se enfría por la parte de abajo.

Este trabajo a elevadas corrientes de 120 a 150 amperes, 152.400 mm (6 Pulg) de grafito son consumidas en solo un minuto; no obstante este trabajo produjo un decrecimiento en 1 % y 2 %. Ocho corridas pueden ser encomendadas en un día produciendo aproximadamente entre 6 y 12 grs de hollín, sin embargo el producto es único con corriente alterna y la mitad que es obtenido con un evaporador convencional, se cree en la conveniencia y la simplificación del aparato, que pueda fabricar posiblemente un químico sintético además de ser capas de producir útiles cantidades de Fullerenos C₆₀ y C₇₀. La figura 6. Muestra un dibujo detallado del reactor benchtop.

A) Vista superior de la tapa de aluminio, P.R.V = válvulas de alivio de la presión. La tapa es de 165.100 mm (6.5 Pulg) de diámetro y 9.525 mm (3/8 Pulg) de espesor de aluminio, unos 19.050 mm (3/4 Pulg) de bisel que fue torneado alrededor de la tapa, seguido con 152.400 mm (6 Pulg) de diámetro de la ranura por el orificio .Ver la vista lateral figura 6.

B) Vista lateral del aparato cuando la mayor parte de los componentes de la tapa esta lejos del lado izquierdo. El diámetro de los electrodos de cobre son de 6.350 mm (1/4 Pulg) fijados con soldadura de plata. Como precaución uno de los electrodos de cobre y la varilla de grafito de 12.700 mm (1/2 Pulg) fueron forrados con un manguito de enchufe. Los electrodos. Para evitar cualquier tensión sobre el electrodo, los cables fueron engrapados por la cabeza del reactor. La varilla de grafito de 3.175 mm (1/8 Pulg) fue obtenida del catálogo número S55POH21 y la información sobre la varilla de grafito de 12.700 mm (1/2 Pulg) fue obtenida del Johnson Matthey de Química.⁽⁷⁾

2.3.4 REACTOR D.

La figura 7, presenta un diagrama a escala para la generación de Fullerenos. Este aparato es similar al reportado anteriormente, pero el perfeccionamiento es importante para una garantía de discusión.

El aparato esta contenido dentro de un estándar de 203.200 mm (8 Pulg), UHV de cuatro caminos horizontales a la cámara, se bombean por un mecanismo de una bomba para una base de presión de 1.33 Pa (10^{-2} Torr) para la producción de los Fullerenos, la cámara es aislada por una bomba y la parte posterior con helio a presión de 0.0266 MPa (200 Torr).

La producción de Fullerenos es transportada a una región de agua fría, esta región esta recubierta por acero inoxidable Shims por contacto con la cámara de agua fría, en el fin de la carrera puede estar aislado, removido los fragmentos de hollín desde el interior pueden ser recolectados por una nueva purificación.

El largo de las varillas son de 12.700 mm (1/2 Pulg) (ultra Spectroscópica pura de electrodos de grafito, United Carbon Products Co. Inc., Bay City Mi.) y es atacada por otra de 50.800 mm (2 Pulg), manejándose linealmente.

Las pequeñas varillas de carbón de 6.350 mm (1/4 Pulg) son utilizadas para este caso, el contenedor permite designar casi por completo el largo 304.800 mm (12 Pulg) de las varillas para poder ser quemadas rompiendo el vacío.

La energía es suministrada por un equipo Hewlett Packard, con una capacidad de 0 a 20 Volts, 0 a 100 amperes y 1000 W, regulado a corriente directa.⁽⁹⁾

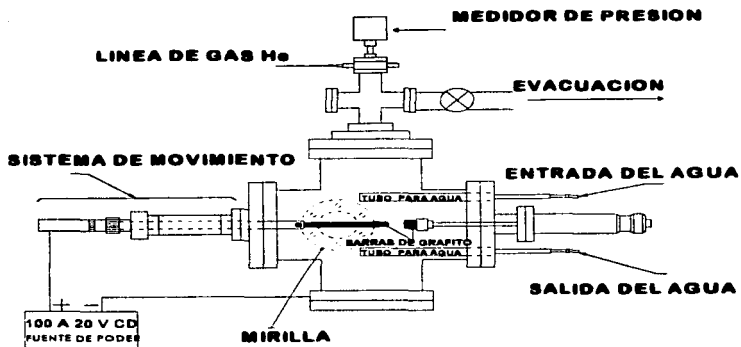


FIGURA 7. Reactor D.

CAPITULO 3

**DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA FUSIÓN
DE GRAFITO EN LA OBTENCIÓN DE
FULLERENOS**

■ De los reactores considerados en el capítulo 2, inciso 2.2, el que permite una mayor innovación y eficiencia es el reactor E, ver figura 8; así como los planos correspondientes. En el cual trataremos de mostrar nuestras modificaciones e implementaciones en el presente capítulo.

■ Las implementaciones que se proponen son las siguientes:

• Sistema de vacío.

En el cual se modifico la forma de la cámara de vacío (envolvente), la tapa de la envolvente, la tapa donde se monta la mirilla, el sujetador izquierdo y derecho. Obteniéndose una mayor eficiencia para mantener el vacío, a la vez de un aumento de velocidad en el proceso de intercambio de materia prima (varillas de grafito).

• Sistema de alimentación.

Este sistema es una verdadera aportación nuestra dado que ningún reactor es alimentado en forma semiautomática por un actuador neumático y las características que presentan los elementos mecánicos que complementan este sistema, ver figura 8.

• Sistema de fusión.

En este sistema se plantea una mejor forma de hacer más seguras las conexiones eléctricas y por medio del aislante evitar que exista contacto directo con la cámara de vacío que actúe como conductor de corriente.

• Respecto a las modificaciones, podemos comentar lo siguiente:

• Sistema de enfriamiento.

Se considero como una necesidad el modificar éste, debido a que el tiempo de fusión fuera más prolongado, trayendo como consecuencia una continuidad en la producción del hollín, un ambiente de trabajo más seguro y realizando en el reactor E un menor mantenimiento preventivo y/o correctivo.

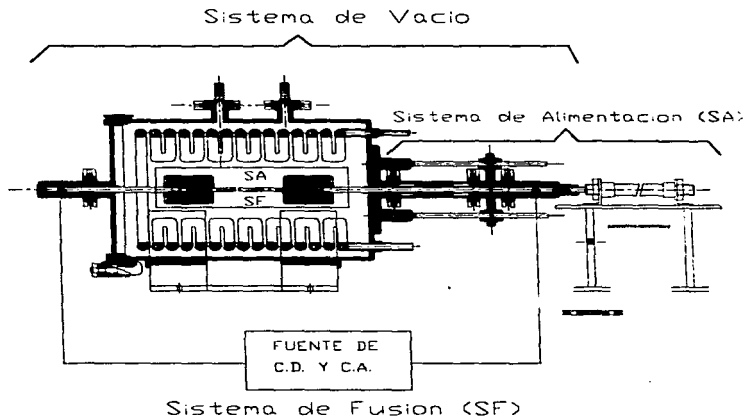


FIGURA 8. Reactor E.

3.2

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA EQUIPO DE PROCESO.

Un tratamiento detallado concerniente a materiales de construcción en la industria de proceso, estaría contenido en varios volúmenes, dada la información existente. En un solo capítulo por lo tanto, puede tratarse este tema únicamente como una referencia necesaria, para abordar el problema de diseño mecánico en el equipo de proceso, considerando que la selección del material es una disciplina independiente, que se basa no solo en aspectos mecánicos, sino en conocimientos profundos de la química y sus reacciones, la electroquímica, los métodos de fabricación de los equipos y aunado a todo esto, algunos factores no técnicos: disponibilidad y costo de materiales.

3.3

MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES.

Quien ha desarrollado con mayor sistematización e incluso estandarizado el uso de materiales para diversos fines, es la industria del petróleo y petroquímica, que es sin lugar a dudas la que mayor consumo observa y la que produce continuamente mejoras en las composiciones y tratamientos destinados a resolver problemas reales. los factores que afectan son diversos y pueden mencionarse los siguientes:

- a) Temperatura de operación.
- b) Resistencia química a las sustancias en contacto.
- c) Resistencia mecánica y facilidad de fabricación.
- d) Influencia o intervención en el proceso.
- e) Costo y disponibilidad en el mercado.

El punto "b" no se discutirá por que el presente diseño no existen sustancias químicas en contacto. Los puntos "d" y "e" son difíciles de discutir con exactitud, porque la posible influencia del material en el proceso, es producto de un estudio químico y a veces biológico (industria de alimentos) complicados, el costo, la disponibilidad se convierten en un problema específico del lugar, además de las posibilidades y alcance del fabricante.

Por lo tanto nos enfocaremos a los puntos a y c, que son de una importancia principal para el presente estudio.

3.3.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN.

A temperaturas ordinarias, que se verán posteriormente y en ausencia de problemas de corrosión, los materiales más usuales son los siguientes:

- El SA-283 Grado C y el SA-285 Grado C son los recomendables de la tabla 2 y 3, sin embargo el recipiente que se propone será de fundición, por lo tanto de la tabla 4, para forjas de acero al carbono-fundiciones-barras se selecciono un **SA-181 Clase 70** para el calculo del recipiente a presión.

3.3.2 RESISTENCIA DE MATERIALES.

La resistencia de un material a condiciones dadas de operación, resulta un factor económico importante, ya que incide directamente sobre el espesor de los tanques tuberías y en general, dispositivos o aparatos que manejan fluidos a presión.

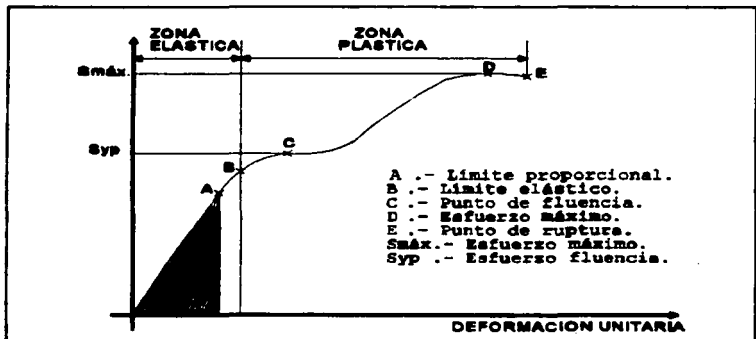


FIGURA 9. Diagrama esfuerzo deformación.

Para calcular el esfuerzo permisible, el esfuerzo último a la tensión o esfuerzo de fluencia; Ver figura 9, se efectúa por un factor de seguridad que toma algunos factores como:

- Trabajo dentro del límite elástico.
- Trabajo dentro del límite proporcional.
- Uso continuo.
- Sobrecargas.
- Heterogeneidad del material, etc..

Con base en el esfuerzo último, en el caso de diseño de recipientes de proceso se utilizan los siguientes factores de seguridad:

• Recipientes atmosféricos	3
• Estructuras y soportes	3
• Recipientes a presión interna	4
• Recipientes a presión externa	4
• Recipientes a presión externa de paredes simples y sujetos a vacío total.	3

El código establece explícitamente en las tablas los valores del esfuerzo de trabajo para diseño de recipientes a presión interna (factor de seguridad = 4), mientras algunos códigos Europeos trabajan con base al esfuerzo de fluencia y con un factor de seguridad de 1.5.

3.4. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE.

A continuación se presentan los parámetros de diseño que son necesarios contemplar para nuestro proyecto y de acuerdo a las características específicas dentro de los diversos sistemas.

SISTEMA DE VACÍO.

- **ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN.**
 - Cargas.
 - Esfuerzos.
 - Esfuerzo máximo permisible.
 - Esfuerzos en cascos cilíndricos.
- **TEMPERATURA DE DISEÑO.**
- **REQUISITOS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE OPERANDO A PRESIÓN EXTERNA.**
 - Requisitos del espesor del cuerpo cilíndrico.
 - Método ASME.
- **REQUISITOS DE DISEÑO DEL RECIPIENTE OPERANDO A PRESIÓN INTERNA.**
 - Requisitos de la envolvente.
 - Definición de fórmulas y nomenclatura.
 - Requisitos de la presión para el diseño de la envolvente.

- REQUISITOS DE DISEÑO DE ORIFICIOS PARA LA ENVOLVENTE.
- Diseño del orificio para el intercambio de las barras de grafito.
- Diseño de orificios superiores por los cuales se genera el vacío.
- Longitud mínima del cuello exterior de los orificios.
- DISEÑO DEL AUMENTO DE MATERIAL.
- REQUISITOS DE DISEÑO DE CABEZAS PLANAS PARA LA ENVOLVENTE SUJETA A PRESIÓN INTERNA Y EXTERNA.
- Nomenclatura.
- Requisitos del espesor.
- REQUISITOS DE DISEÑO DE ORIFICIOS EN TAPAS PLANAS.
- LONGITUD MÍNIMA DEL CUELLO EXTERIOR PARA LOS ORIFICIOS.
- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.
- Condiciones que presenta el reactor E.
- Serpentina.
- Tubo de cobre tipo K.
- Coeficiente en los tubos.
- Beneficios del sistema de refrigeración.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

- REQUISITOS PARA EL CONTROL POR NEUMÁTICA.
- Teoría de la neumática
- Razones para utilizar la neumática.
- Consideraciones sobre el proyecto de mandos neumáticos.
- Orientación para el proyecto.
- APOYOS AISLADOS.
- Flecha conductora móvil.
- Flecha conductora fija.
- BENEFICIOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

SISTEMA DE FUSIÓN.

- PARTES MECÁNICAS (APOYOS AISLADOS).
- Flecha conductora fija.
- ALIMENTACIÓN DE LA CORRIENTE PARA GENERAR EL ARCO ELÉCTRICO.

PIEZAS NO CALCULADAS PARA SU DISEÑO.

DISEÑO DE SOPORTES.

- SOPORTE O SILLETA DEL REACTOR E.
- SOPORTE DEL CILINDRO NEUMÁTICO.

3.5 PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE VACÍO.

3.5.1 ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN.

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una fusión de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

3.5.1.1 Cargas.

- a) Presión interna o externa.
- b) Peso del recipiente y su contenido.
- c) Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tubería revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos.
- d) Reacciones cíclicas y dinámicas debidas a la presión o a las variaciones térmicas.
- e) Presión del viento y fuerzas sísmicas.
- f) Reacciones por impacto debido a choque hidráulico.
- g) Gradiente de temperatura y expansión térmica diferencial.

3.5.1.2 Esfuerzos.

- a) Esfuerzo a la tensión.
- b) Esfuerzo longitudinal a la compresión.
- c) Esfuerzo primario general de membrana inducido por cualquier combinación de cargas.

Esfuerzo primario de membrana más esfuerzo primario de flexión inducido por combinación de cargas.

- d) Esfuerzo primario general de membrana inducido por la combinación de sismos o de la presión del viento con otras cargas.

No se considera que la fuerza sísmica y la presión del aire que actúen simultáneamente.

3.5.1.3 Esfuerzo máximo permisible.

- S . Esfuerzo máximo permisible a la tensión para acero al carbono y de bajo contenido de elementos de aleación, tabla 3 Y 4 ; Kg/cm² (lb/Pulg²).

El más pequeño de S o el valor del factor B (Esfuerzo máximo a la compresión longitudinal) de términos mediante el procedimiento **ASME**. El esfuerzo máximo permisible es 1.5

- El esfuerzo permitido es 1.2 "S", si la temperatura del metal no sobrepasa:
- 371 O (700 o) para el acero al carbono y el acero con bajo contenido de elementos de aleación.
- 427 O (800 o) para el acero inoxidable con alto contenido de elementos de aleación.

3.5.1.4 Esfuerzos en cascos cilíndricos.

La presión uniforme, interna o externa, induce en la costura

longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro.

Cuando otras fuerzas (de viento, sísmicas, etc.) no son factores importantes, un recipiente sujeto a presión externa, debe diseñarse para resistir solo la deformación circunferencial.

Las normas establecen el método de diseño para llenar tal requisito. Cuando actúan además otras cargas la combinación de las mismas puede ser la que rija, y podrá requerirse una placa de mayor espesor que el necesario para resistir únicamente la deformación circunferencial.

El esfuerzo a la compresión debido a la presión externa y el esfuerzo a la presión interna se determinarán mediante las fórmulas siguientes.

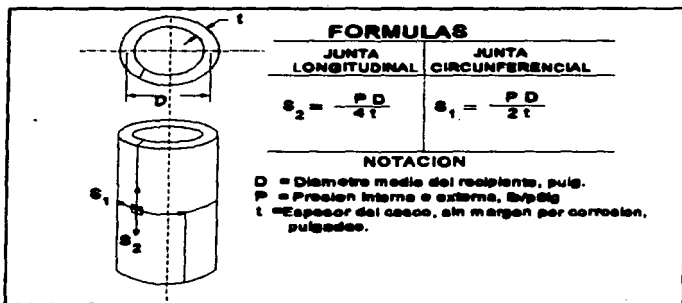


FIGURA 10. Esfuerzos en cascos cilíndricos.

3.5.2 TEMPERATURA DE DISEÑO.

La temperatura de diseño se calcula igualmente con base en la temperatura máxima de operación. Es una práctica usual en el intervalo de 0 a 399 °C (32 a 750 °F), aumentar - 4 °C (25 °F) a la temperatura máxima de operación, para calcular la temperatura de diseño. Queda excluido el caso de trabajos criogénicos, en cuyo diseño, en lugar de sumar, se restan los - 4 °C (25 °F) mencionados. Por arriba de los 399 °C (750 °F), no se acostumbra agregar ningún factor.

$$T_d = T_{\text{max. op.}} + 25^{\circ}\text{F} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

T_d = Temperatura de diseño en °K (°F).

$T_{\text{max. op}}$ = Temperatura máxima de operación en °K (°F).

3.5.3 REQUISITOS DE DISEÑO DE RECIPIENTES OPERANDO A PRESIÓN EXTERNA.

Quedan contenidos en esta clasificación, todos aquellos recipientes que estén dentro de alguno de los casos descritos a continuación.

- Recipientes simples operando por debajo de la presión atmosférica del lugar (vacío).
- Recipiente encaquetados donde el medio de calentamiento tiene una presión superior a la presión del fluido en el tanque.

- Recipientes operando a presión interna que además se comprueba a presión externa de seguridad.
- Recipientes de varias cámaras donde existen diferencias de presión de cámara a cámara.

Se considera que los recipientes destinados a servicios con presiones de operación externas de 1.055 Kg/cm² (15 lb/Pulg²) o menores, deben diseñarse con la menor de las siguientes condiciones: la presión máxima permisible exterior del 1.055 Kg/cm² (15 lb/Pulg²) ó 25 % más que la máxima presión externa posible.

Las partes asociadas con el recipiente prácticamente son las mismas que en recipientes a presión externa excepto por los atiesadores, que aparecen cuando resulta más económico reforzar el cuerpo cilíndrico que aumentar el espesor.

El uso de estos recipientes es variado, aunque comúnmente se emplean los de recipientes a vacío en operaciones en las que se quiere evitar la descomposición por alta temperatura, en evaporación de soluciones, suspensiones, cristalización continua, ebullición y destilación de residuos pesados.

Todos los recipientes a presión interna se deben comprobar a presión externa de modo que, aún sin estar sujetos a presión externa durante su operación es necesario su comprobación.

Existen casos de recipientes dentro de recipientes, o bien en tuberías o serpentines dentro de recipientes, en donde la cámara exterior se encuentra a una presión mayor que la interior, en cuyo caso, el recipiente o tubería interior tendrá que calcularse a presión externa.

3.5.3.1 Requisitos del espesor de la envoltura.

En cilindros de pared delgada actuando a presión externa, los efectos de compresión sobre las paredes ya sea longitudinal o circunferencial, no son significativos en el diseño. La Falla se presenta generalmente por aplastamiento, de manera que su tratamiento es diferente.

El diseño se basa entonces, en la carga crítica o bien la presión a la cual ocurre la falla por aplastamiento.

$$P = \frac{24EI}{D^3} \dots\dots\dots (2)$$

Si la cinta considerada tiene un ancho unitario y se diseña para la resistencia longitudinal, el momento de inercia de la cinta de sección rectangular es:

$$I = \frac{bt^3}{12} \dots\dots\dots (3)$$

Donde b es el ancho unitario de la cinta.

Por otra parte, el esfuerzo longitudinal es:

$$S_x = \frac{R E_x}{1-\mu^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$P = \frac{2E}{1-\mu^2} \left(\frac{t}{D}\right)^3 \dots\dots\dots (5)$$

La carga considerada tomando en cuenta el momento de inercia y los esfuerzos en dos direcciones, se convierten en:

Considerando que para cada material tenemos un valor de μ , se generaliza la ecuación como:

$$P = K E \left(\frac{t}{D}\right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

Para acero común cuyo valor de $\mu = 0.3$ y para tubos largos se tiene:

$$P = 2.2 E \left(\frac{t}{D}\right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

Lógicamente no se debe diseñar a la carga de Falla por lo cual se introduce un factor de seguridad. En recipientes a presión este factor es de 4, por lo tanto:

$$P = 0.55 E \left(\frac{t}{D}\right)^2 \dots\dots\dots (8)$$

En cualquier otro caso, el factor k depende del módulo de Poisson del material y de la relación de longitud a diámetro para el cilindro. El esfuerzo, que es el factor de diseño es:

$$S_t = \frac{PD}{2t} \dots\dots\dots (9)$$

Substituyendo el valor de la presión:

$$\xi = \frac{KEd}{2t} \left(\frac{\epsilon}{D}\right)^2 \dots \dots \dots (10)$$

Y la deformación unitaria:

$$\epsilon_u = \left(\frac{K}{2}\right) \left(\frac{\epsilon}{D}\right)^2 \dots \dots \dots (11)$$

Estas relaciones han sido graficadas para su uso, produciendo dos tipos de curvas:

- a) Teniendo como escalas deformación unitaria (ϵ_u) y la relación de esbeltez L/D_0 , se obtiene un grupo de curvas cuyo parámetro es D_0/t . Este grupo de curvas resulta de la aplicación directa de la función:

$$\epsilon_u = f\left[\left(\frac{L}{D_0}\right), \left(\frac{D_0}{t}\right)\right] \dots \dots \dots (12)$$

que es una representación generalizada.

- b) Por otra parte, en cada material se observa un comportamiento típico cuando es sometido a cargas en una máquina de pruebas. Esto nos da una relación gráfica entre el esfuerzo y la deformación unitaria. Si la temperatura varía, cambia dicho comportamiento, por lo que tendremos una familia de curvas esfuerzo-deformación si realizamos pruebas a diferentes temperaturas.

La presión permisible mediante la ecuación siguiente, donde:

$$P = \frac{2tS}{D} \dots\dots\dots (13)$$

Aplicando el factor de seguridad de 4:

$$P = \frac{tS}{2D} \dots\dots\dots (14)$$

$$P = \left(\frac{D}{t}\right) = \frac{S}{2} = B \dots\dots\dots (15)$$

El factor B puede servir como factor de diseño, ya que simplifica el uso del método.

3.5.3.2 Método ASME.

3.5.3.2.1 Definición de fórmulas y Nomenclatura.

Las reglas para el diseño de envolventes y tubos dados en esta Norma, se limitan a envolventes cilíndricas con o sin anillos de refuerzo, tubos y envolventes esféricos.

Las gráficas utilizadas para la determinación del espesor mínimo requerido, son de la 1 a la 13. Ver apéndice.

La nomenclatura definida a continuación, es la que se emplea en las fórmulas dadas en este inciso.

- A = Factor determinado en la gráfica 1 y tabla 3 y 4, en función de la longitud, espesor y diámetro de la envolvente. Para el caso de cilindros con valores p/t menores que 10, Ver envolvente cilíndrica y tubos.

- B** = Factor determinado en las gráficas 2 a 13 de los materiales aplicables para una temperatura de diseño máximo del metal.
- D** = Diámetro exterior de la envolvente cilíndrica considerada o tubo, en mm (pulg).
- E** = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño, en MPa (lb/pulg²), ver gráfica 2 a 13.
- L** = Longitud total o de diseño de una sección del recipiente o un tubo entre cabezales, en mm (pulg) tomando la mayor de las siguientes:
- a) La distancia entre líneas de tangencia más una tercera parte de la profundidad de cada una de las cabezas, si no hay anillos de refuerzo, excluyendo cabezas y secciones cónicas.
 - b) La distancia entre las juntas cono-cilindro para recipientes con cabeza cónica, si no hay anillos de refuerzo.
 - c) La mayor distancia entre centros de anillos de refuerzo adyacentes.
 - d) La distancia entre el centro del primer anillo de refuerzo a la línea de tangencia de la cabeza, más una tercera parte de la profundidad de la misma (Excluyendo cabezas y secciones cónicas).
 - e) La distancia desde el primer anillo de refuerzo hasta la junta del cono-cilindro.

- f) La longitud equivalente de las cabezas y secciones cónicas.

El código ASME proporciona además de las curvas estándar de L/D_0 contra factor A (deformación unitaria) usando como parámetro D_0/t , las curvas características de resistencia del material a diferentes temperaturas en forma gráfica de A contra A .

El espesor mínimo para una envolvente cilíndrica o tubo, sujetos a presión externa, ya sea sin costura o con juntas longitudinales a tope, debe ser determinado por el procedimiento siguiente:

Para envolventes cilíndricas que tenga valores de D_0/t iguales o mayores de 10, el procedimiento es:

- 1) Se calcula L/D_0 usando como longitud, la mayor de las cantidades siguientes:
 - a) La longitud entre líneas de tangentes en el cilindro, más $1/3$ de la profundidad de la tapa a cada lado, si las tapas son iguales. Cuando se dispone de la longitud entre soldaduras, es necesario agregar la longitud de la ceja recta a cada lado.

$$l = l_0 + 2(h/3) + 2sf \quad \dots\dots\dots (16)$$

Los valores de " h " y de " sf " pertenecerán a la tapa superior o inferior, según el caso.

Para determinar D_0 , se debe conocer el espesor total, por lo tanto, debe suponerse inicialmente.

Para formas tubulares con un L/D_0 mayor de 50, se usará la gráfica correspondiente al material, entrando con $L/D_0 = 50$.

- 2) Usando el espesor supuesto y el diámetro exterior ya calculado se determina el valor del parámetro D_o/t .
- 3) En la gráfica para presión externa, con el valor de L/D_o , se cortara la línea de D_o/t y verticalmente podrá leerse el valor del factor A. Gráfica 1 del apéndice.
- 4) En la gráfica correspondiente al material de construcción, el factor A se intersectará con la curva de resistencia a la temperatura de diseño y en dirección horizontal, se leerá el valor del factor B. Gráficas 2 a 13 del apéndice.

Para casos en los cuales el factor A cae hacia la izquierda de la línea de temperatura sin tocarla, se recomienda calcular la presión permisible como:

$$P_{perm} = \frac{2SE}{3\left(\frac{d_o}{t}\right)} \dots\dots\dots (17)$$

Para valores de A que caen hacia la derecha de la línea de temperatura sin tocarla, ésta se proyectará horizontalmente y se intersectará con A para leer el valor del factor B.

Será posible interpolar entre líneas para valores intermedios de la temperatura de diseño T_d ; igualmente para encontrar el factor A.

Para los casos en que el factor A resulte mayor de 0.1, deberá usarse 0.1 para entrar en la gráfica.

- 5) Encontrando el factor B, se determina la presión permisible de acuerdo con la expresión siguiente:

$$P_{perm} = \frac{S}{\left(\frac{d_o}{t}\right)} \dots\dots\dots (18)$$

Como se menciona antes de la ecuación , el factor de seguridad aplicado es de 4, se puede aumentar el valor de la presión permisible, si se toma un factor de 3.

$$P_{perm} = \frac{S}{3\left(\frac{d_o}{t}\right)} \dots\dots\dots (19)$$

Esto es conveniente hacerlo únicamente en el caso de recipientes simples, sujetos a la presión externa de la atmósfera, como los casos de vacío y recipientes operando a presión interna que además se comprueban a presión externa de seguridad.

En otros casos, es conveniente conservar el factor de seguridad original, por las posibilidades significativas de aumento de la presión externa, al ser producida de alguna manera por el proceso.

- 6) Si la presión permisible calculada es ligeramente superior a la presión externa de diseño, el espesor es correcto. En caso contrario, es necesario suponer otro espesor y repetir el procedimiento.

En el caso específico de tubos, el espesor de pared necesario a presión interna o bajo presión externa, se determinara de acuerdo al principio de funcionamiento.

En ambos casos deberá considerarse el aumento de espesor debido a corrosión, erosión o tuberías roscadas. Además de los espesores resultantes deben ajustarse a valores comerciales, según el tipo de tubo que se utilice.

3.5.3.3 Cálculo del espesor de la envolvente.

• Datos de requeridos.

Presión de diseño = 1.055 Kg/cm² = 15 lb/Pulg².

Temperatura = 200 °C.

Por la ecuación siguiente se realiza la conversión:

$$T_f = \left(\frac{9}{5}\right) \cdot C + 32 \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$T_f = \frac{9}{5} (200^\circ C + 32 = 392^\circ F)$$

Por la ecuación 1 se tiene.

$$T_d = T_{uds...} + 25^\circ F$$

$$T_d = 392^\circ F + 25^\circ F = 417^\circ F = 214^\circ C$$

La longitud de la envolvente de acuerdo a **ASME**.

$$L = 358 \text{ mm} = 14.094 \text{ Pulg.}$$

$$D_o = 272 \text{ mm} = 10.709 \text{ Pulg.}$$

Se supondrá un espesor de $t = 5 \text{ mm} = 0.197 \text{ Pulg.}$

$$D_i = 262 \text{ mm} = 10.315 \text{ Pulg.}$$

Por lo tanto el radio interior es $R_i = 130.988 \text{ mm} = 5.157 \text{ Pulg.}$

• **Calculo del espesor de la envolvente sujeta a presión externa de acuerdo al procedimiento ASME.**

Paso 1.

$$\frac{L}{D_o} = \frac{14.094}{10.709} = 1.316$$

Tomando el espesor supuesto que es de $t = 5 \text{ mm} = 0.197 \text{ Pulg.}$

En el caso de recipientes operando a presión externa, no existe ninguna regla para suponer el espesor inicial.

$$\frac{D_o}{t} = \frac{10.709}{0.197} = 54.360$$

Paso 2 y 3.

Para determinar el valor del factor **A** para recipientes cilindricos bajo presión externa. Entrar a la gráfica 1 del apéndice, el cual corresponde a:

$$A = 0.0025$$

Paso 4 y 5.

Usando el valor de **A**, entrar a la gráfica 3 que corresponde al material aplicable que es un SA-181 Clase 70. Ver el apéndice.

Moverse verticalmente hasta la intersección con la línea material/temperatura, para la temperatura de diseño expuesta en el inciso 3.5.2.3.

Se selecciono el SA-181 Clase 70 , el cual presenta un esfuerzo máximo permisible de 17,500 lb/Pulg². Ver la tabla 4.

De la gráfica 3 con el factor **A** y la curva material/temperatura se lee un factor de **B = 14,000 lb/Pulg²**.

Paso 6.

Sustituyendo el valor de **B** en la ecuación 19 el valor de la presión permisible externa es:

$$P = \frac{4B}{3 \left(\frac{D}{t}\right)} = \frac{(4)(14,000 \text{ lb/Pulg}^2)}{(3)(54.360)} = 343.390 \text{ lb/Pulg}^2$$

Por lo tanto como la presión calculada en el paso 6 cumple con $P_{\text{calc}} > P_r$ ($343 \text{ lb/Pulg}^2 > 15 \text{ lb/Pulg}^2$) el espesor de $t = 5 \text{ mm}$ (0.197 Pulg), es suficiente para que la envolvente opere a presión externa.

3.5.4 REQUISITOS DE DISEÑO DE RECIPIENTES OPERANDO BAJO PRESIÓN INTERNA.

Excepuando los equipos de almacenamiento atmosférico, el resto de los recipientes de proceso se pueden clasificar dentro de esta categoría sin importar su función, sus interiores o su forma exterior. Las características de los recipientes a presión se clasifican según su posición, uso, condiciones de operación y tipo de proceso, los recipientes a presión toman una forma y poseen accesorios determinados.

3.5.4.1 Requisitos del espesor de la envolvente.

La forma más importante de recipientes a presión, es la de un cilindro cerrado en sus extremos con tapas bombadas. por lo anterior, la determinación del cuerpo cilíndrico, resulta ser el paso inicial del diseño mecánico de este tipo de recipientes. Para la comprensión de los términos utilizados más adelante, se hace necesario proporcionar las siguientes definiciones:

- a) Espesor requerido. Es el espesor calculado con las ecuaciones que se proporcionan más adelante sin adicionar el espesor por corrosión o erosión.
- b) Espesor de diseño. Es la suma del espesor requerido más el necesario por corrosión o erosión.
- c) Espesor nominal. Es el espesor seleccionado entre los disponibles comercialmente.

3.5.4.2 Definición de fórmulas y Nomenclatura.

El espesor de las envolventes sujetas a presión interna, no debe ser menor que el calculado por medio de las fórmulas siguientes. Además, se deben tomar en cuenta cualesquiera de las cargas listadas en 3.5.1.

La nomenclatura definida a continuación, se emplea en las fórmulas definidas en este inciso.

- t = Espesor mínimo requerido de las placas de la envolvente sin incluir tolerancias por corrosión, en mm (pulg).
- P = Presión de diseño, en MPa (lb/pulg²), o ver presión máxima permisible de trabajo.
- S = Valor de esfuerzo máximo permisible, en Mpa (lb/pulg²). Véase las Tablas 1 a 5 y las limitaciones de esfuerzos especificados de acuerdo a los requerimientos mínimos del material.
- E = Eficiencia para la junta de unión o eficiencia de la junta adecuada en recipientes cilindricos o de cualquier junta en recipientes esféricos o eficiencia de los ligamentos entre aberturas, la que sea menor.
- R_i = Radio interior de la envolvente en mm (pulg).
- R_e = Radio exterior de la envolvente en mm (pulg).
- c = Espesor adicional por corrosión en mm (pulg).
- Esfuerzo circunferencial (juntas longitudinales). Cuando el espesor no es mayor que la mitad del radio interior o cuando la presión no es mayor que 0.385 SE, se emplean las siguientes

formulas:

Considerando el valor teórico del esfuerzo tangencial:

$$t = \frac{PD}{2S} \dots\dots\dots (21)$$

La ecuación para calcular el espesor del cuerpo adopta las dos formas siguientes:

Para dimensiones interiores:

$$t = \frac{PR_i}{SE - 0.6P} + c \dots\dots\dots (22)$$

Para dimensiones exteriores:

$$t = \frac{PR_o}{SE + 0.4P} + c \dots\dots\dots (23)$$

- El espesor en un recipiente operando a presión interna o externa, ya sea para el cuerpo cilíndrico o para las tapas, no deberá ser menor de 4.762 mm (3/16 pula), incluyendo la tolerancia por corrosión para construcción en aceros de baja aleación.

En el caso de materiales de alta aleación (por ejemplo aceros inoxidables), se permiten espesores hasta de 3.175 mm (1/8 Pulg). sin tolerancia de corrosión. Evidentemente el diseño de tubos, no se encuentra sujeto a estas limitaciones.

3.5.4.3 Requisitos de presión para la envoltura.

- **Presión de operación.**

Se establece como la presión en la parte superior del recipiente, cuando se tiene operación normal y no debe excederse de la presión máxima permisible de trabajo.

- **Presión máxima permisible de trabajo.**

Es la máxima presión manométrica permitida a una temperatura especificada en la parte superior del recipiente, durante la operación normal de éste, cuando se a colocado en su posición correcta. Esta presión es la base para ajustar los dispositivos de presión, instalados para la protección del recipiente.

- **Presión de diseño.**

La presión de diseño tiene un valor que coincide con la temperatura especificada, a las condiciones de operación más severas. Esta presión se determina en base a la presión máxima permisible de trabajo, cuando los datos de proceso no la proporcionan.

En cuanto a la presión de diseño se puede elegir entre sumar 2.109 Kg/cm² (30 lb/Pulg²) a la presión máxima de operación, o bien, agregar el 20 % como factor de seguridad.

También debe de tomarse en consideración la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente.

• **Presión externa de seguridad.**

En recipientes que operan a presión interna y contienen un líquido que eventualmente será extraído por bombeo, es recomendable comprobar los espesores para una presión externa de 0.176 Kg/cm² (2.5 lb/Pulg²) Esta condición de vacío se presenta a una falla de presión, al continuar extrayendo el fluido mediante la bomba.

• **Presión de prueba hidrostática. (Ph)**

Deberá ser cuando menos 1.5 veces la presión máxima permisible de trabajo, calculando esta última para cada una de las partes del recipiente (cuerpo, tapas, transiciones, etc.).

$$P_h = 1.5 P \left(\frac{S_u}{S} \right) \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

S_u = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba MPA (lb/Pulg²).

S_w = Esfuerzo permisible a la temp. de prueba MPA (lb/Pulg²).

La presión que resulte menor se designará como prueba hidrostática.

Generalmente la prueba hidrostática se realiza a temperatura ambiente sin embargo, (S_x/S_w) puede ser variable si la temperatura de diseño es variable, en estos casos se usa la relación menor.

3.5.4.4 Cálculo del espesor de la envolvente.

- Cálculo de acuerdo al procedimiento 3.5.4.2.

- Datos requeridos.

$P_{perm.}$	=	20 Kg/cm ² = 286 lb/Pulg ² .
P_d	=	24 Kg/cm ² = 343 lb/Pulg ² , de acuerdo al párrafo 3.5.4.3.
T_d	=	417 °F de acuerdo al inciso 3.5.2. ecuación 1.
L	=	357.988 mm = 14.094 Pulg
R_i	=	131.013 mm = 5.158 Pulg
E	=	1 Eficiencia de la junta radiografiada totalmente de acuerdo al inciso 3.5.1.1.
c	=	3.175. mm = 0.125 Pulg, material adicionado por corrosión expuesto en el inciso 3.5.1.1.

- Cálculo del espesor de acuerdo a 3.5.4.2 y usando la ecuación 22.

$$t = \frac{PR_1}{SE - 0.6P} + c$$

Sustituyendo los datos tenemos.

$$t = \frac{(343.390 \text{ lb/Pulg}^2)(5.157 \text{ Pulg})}{(17,500 \text{ lb/Pulg}^2)(1) - (0.6)(343.390 \text{ lb/Pulg}^2)} + 0.125 \text{ Pulg}$$

$$t = 0.121 \text{ Pulg} + 0.125 \text{ Pulg} = 0.246 \text{ Pulg} = 6.15 \text{ mm}$$

Por lo tanto el espesor de $t = 5 \text{ mm}$ (0.195 Pulg), supuesto es suficiente para que este también trabaje a presión interna.

Comprobando que presión soporta la envolvente con el espesor supuesto, despejando P de la ecuación 24 se tiene lo siguiente.

$$P = \frac{S E t}{R_i + 0.6 P}$$

$$P = \frac{(17,500)(1)(0.197)}{5.157 + (0.6)(0.197)} = 555,500 \text{ lb/Pulg}^2$$

Como el espesor supuesto quedó comprendido en el rango de 3.073 mm (0.121 Pulg) y 6.248 mm (0.246 Pulg) por el aumento de material de 3.175 mm (0.125 Pulg), por corrosión cumple el párrafo 3.5.4.2, en el cual se menciona que el espesor en un recipiente operando a presión interna o externa no deberá ser menor de 4.775 mm (3/16 Pulg), incluyendo tolerancia por corrosión, por lo que el espesor supuesto cumple con lo especificado en 3.5.3.1.

Por el inciso 3.5.4.3 la presión externa de seguridad queda comprendida por el cálculo del envolvente a presión externa ya que para esta se toma una $P_d = 0.176 \text{ Kg/cm}^2$ (2.5 lb/Pulg²) y la presión obtenida en este párrafo es de $P_{perm.} = 24 \text{ Kg/cm}^2$ (343 lb/Pulg²), cumpliendo con el diseño $P_{perm.} > P_d$.

De el inciso 3.5.4.3 la presión de prueba hidrostática se

determina por la ecuación 24.

$$P_a = 1.5 P_{perm} \cdot \left(\frac{S_u}{S_y} \right)$$

Como ambos esfuerzos están comprendidos en el rango de temperatura de diseño de $-29 < T < 343$ °C ($-20 < T < 650$ °F).

$$S_u = S_y = 1230 \text{ Kg/cm}^2 = 17,500 \text{ lb/Pulg}^2$$

Sustituyendo datos tenemos.

$$P_a = 1.5 (343.390 \text{ lb/Pulg}^2) (1) = 514.95 \text{ lb/Pulg}^2$$

Por lo que el espesor de la envolvente soporta satisfactoriamente la prueba hidrostática.

3.5.5 REQUISITOS DE DISEÑO DE ORIFICIOS PARA LA ENVOLVENTE.

3.5.5.1 Diseño del orificio donde se coloca la tapa con mirilla.

Las aperturas reforzadas adecuadamente sobre envolventes cilíndricas no están limitadas en tamaño y deben cumplir los requisitos dados a continuación.

- Para recipientes que no excedan de 1530 mm (60 Pulg) de diámetro y menores pueden tener una abertura de 1/2 del diámetro del recipiente pero no debe ser mayor a 510 mm (20 Pulg).
- **Calculo del orificio.**

Diámetro exterior de la envolvente $D_o = 272 \text{ mm} = 10.709 \text{ Pulg.}$

$$\frac{D_o}{2} = \frac{10.709 \text{ Pulg}}{2} = 5.355 \text{ Pulg} = 136.004 \text{ mm}$$

Del párrafo anterior se calcula el tamaño del orificio.

Calculando el orificio por regla de tres tomando las limitantes del párrafo descrito anteriormente tenemos.

$$60 \text{ Pulg} = 20 \text{ Pulg}$$

$$10.709 \text{ Pulg} = x$$

$$x = \frac{(20 \text{ Pulg})(10.709 \text{ Pulg})}{60 \text{ Pulg}} = 3.570 \text{ Pulg} = 90.678 \text{ mm}$$

Por lo tanto se tomo un valor en este intervalo el cual es 102.000 mm, para este orificio.

3.5.5.2 Diseño de orificios superiores por los que se genera el vacío.

Las aperturas sencillas en recipientes que no estén sujetos a rápidas fluctuaciones de presión no necesitan refuerzo adicional al inherente en la construcción, siempre que cumpla las siguientes condiciones:

Conexiones fijas de acuerdo con la reglas aplicables y no mayores de:

- 76 mm (3 Pulg) de diámetro nominal de tubo. En envolventes de recipientes o cabezas cuyo espesor de pared sea 9.5 mm (0.375 Pulg) o menor.

- 51 mm (2 Pulg) de diámetro nominal de tubo. En envolventes de recipientes o cabezas cuyo espesor de pared sea mayor de 9.5 mm (0.375 Pulg).

Para aperturas múltiples.

- Dos aperturas espaciadas como mínimo dos veces su promedio de diámetros.
- Más de dos aberturas espaciadas como mínimo dos veces sus promedios de diámetro.

Por lo tanto los orificios mencionados quedan comprendidos en este inciso por lo expuesto en este.

3.5.5.3 La longitud mínima del cuello exterior de los orificios.

- No existe ninguna longitud mínima del cuello exterior para las aberturas integrales rebordadas, pero no mayores de 152 mm (6 Pulg).

3.5.6 DISEÑO DE AUMENTO DE MATERIAL.

- **Aumento de material para soportar las flechas guías.** Los esfuerzos generados por las barras se consideran despreciables por ser pequeños en comparación con los soportados por el material.
- **Aumento de material (topes) para evitar el desplazamiento del reactor E.** Como la fuerza aplicada es constante y su desplazamiento muy lento generan esfuerzos pequeños para ser incluidos en su diseño.

3.5.7 REQUISITOS DE DISEÑO DE CABEZAS PLANAS PARA LA ENVOLVENTE SUJETAS A PRESIÓN INTERNA Y EXTERNA.

Para seleccionar cabezas en recipientes operando a presión interna y externa, no se pueden fijar límites en las presiones de diseño o en las dimensiones. La selección última se hace en base al espesor de la cabeza y a su costo total, así como a la relación entre el espesor de la cabeza y el espesor del cuerpo.

3.5.7.1 Nomenclatura.

La nomenclatura usada en este inciso se define a continuación:

- C = Factor adimensional, que depende de la forma de la fijación de la cabeza, los factores para tapas soldadas también incluyen un factor de 0.667 el cual incrementa el esfuerzo permisible para construcciones semejantes a 1.5 " S " .
- E = Eficiencia de la junta para cualquier categoría A de soldadura.
- P = Presión de diseño, en MPa (lb/Pulg²).
- S = Valor del esfuerzo máximo permisible, para el material considerado, en MPa (lb/Pulg²), ver tabla 3 y 4.
- t = Espesor mínimo necesario de la cabeza o tapa plana, sin incluir la tolerancia por corrosión, en mm (Pulg).
- d = Diámetro o claro menor (Diámetro interior según la forma de la tapa plana(D₁)).

3.5.7.2 Requisitos del espesor.

El espesor de cabezas planas sin reforzar, tapas y bridas ciegas, debe estar de acuerdo con cualesquiera de los siguientes requisitos.

- El espesor mínimo necesario para cabezas circulares planas sin reforzar, tapas y bridas ciegas, se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{SE}} \dots\dots\dots (25)$$

- Para cabezas y tapas circulares y no circulares atornilladas al recipiente como se indica en la figura 11. Deben usarse la ecuación 25 debido al momento extra aplicado a la tapa por la tornillería, por lo tanto el factor adimensional es $C = 0.30$.

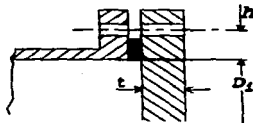


FIGURA 11. Factor adimensional $C = 0.03$.

3.5.7.3 Cálculo de la tapa plana para la envolvente.

- Datos requeridos.

P_d = 1.055 Kg/cm² = 15 lb/Pulg², para presión externa.

T_d = 417 °F

E = 1 Eficiencia de la junta radiografiada totalmente de acuerdo al inciso 3.5.1.1.

C = 0.3

D = 290 mm = 11.417 Pulg. Diámetro exterior de la tapa.

D_i = 262 mm = 10.315 Pulg. Diámetro interior de la envolvente.

- Cálculo a presión externa.

Usando la ecuación 25 de este capítulo y sustituyendo los valores se tiene.

$$t = (10.315 \text{ Pulg}) \sqrt{\frac{(0.3 \times 15 \text{ lb/Pulg}^2)}{(17,500 \text{ lb/Pulg}^2 \times 1)}} = 0.165 \text{ Pulg} = 4.201 \text{ mm}$$

Por el resultado anterior el espesor de $t = 5 \text{ mm}$ (0.197 Pulg), es satisfactorio para que la tapa opere a presión externa.

- Cálculo a presión interna.

De la ecuación 25 se despeja el espesor para poder determinar que presión soporta dicho espesor supuesto.

$$P = \frac{SE \left(\frac{t}{d}\right)^2}{C}$$

$$P = \frac{(17,500 \times 1) \left(\frac{0.197}{10.315}\right)^2}{0.3} = 21.277 \text{ lb/Pulg}^2$$

Como la presión interna de operación que soporta la envolvente es de $P_d = 24 \text{ Kg/cm}^2$ (343 lb/Pulg^2), es demasiado grande se considerara para la tapa una presión de operación de 5 bars = 4.922 Kg/cm^2 (70 lb/Pulg^2), que es la presión máxima que soporta el vidrio de la mirilla.

$$P_d = 1.2 P_{\text{max. op.}}$$

$$P_d = 1.2 (70 \text{ lb/Pulg}^2) = 84 \text{ lb/Pulg}^2$$

Usando la ecuación 25 se calcula el espesor.

$$t = (10.315 \text{ Pulg}) \sqrt{\frac{(0.3 \times 84 \text{ lb/Pulg}^2)}{(17,500 \text{ lb/Pulg}^2 \times 1)}} = 0.391 \text{ Pulg} = 9.931 \text{ mm}$$

De datos experimentales como el recipiente estará operando la

mayor parte a vacío y el incremento de la presión no es mayor a 1 bar = 0.981 Kg/cm² (13.956 lb/Pulg²), el espesor supuesto es satisfactorio para la tapa, ya que el sistema es controlado.

3.5.7.4 Cálculo de la tapa plana para el cuello de la envolvente.

• **Datos requeridos.**

P_d = 1.055 Kg/cm² = 15 lb/Pulg², para presión externa.

T_d = 417 °F

E = 1 Eficiencia de la junta radiografiada totalmente de acuerdo al inciso 3.5.1.1.

C = 0.3

D = 290 mm = 4.409 Pulg. Diámetro exterior de la tapa.

D_i = 262 mm = 4.016 Pulg. Diámetro interior del cuello de la envolvente.

• **Cálculo a presión externa.**

Usando la ecuación 25 de este capítulo y sustituyendo los valores se tiene.

$$t = (4.016 \text{ Pulg}) \sqrt{\frac{(0.3 \times 15 \text{ lb/Pulg}^2)}{(17,500 \text{ lb/Pulg}^2 \times 1)}} = 0.064 \text{ Pulg} = 1.636 \text{ mm}$$

Por el resultado anterior el espesor de $t = 5 \text{ mm}$ (0.197 Pulg) es

satisfactorio para que la tapa opere a presión externa.

• **Calculo a presión interna.**

De la ecuación 25 se despeja el espesor para poder determinar que presión soporta dicho espesor supuesto.

$$P = \frac{SK \left(\frac{t}{d}\right)^2}{C}$$

$$P = \frac{(17,500 \times 1) \left(\frac{0.197}{4.016}\right)^2}{0.3} = 140.366 \text{ lb/Pulg}^2$$

Como la presión interna de operación que soporta la envolvente es de $P_a = 24 \text{ Kg/cm}^2$ (343 lb/Pulg^2), es demasiado grande se considerara para la tapa una presión de operación de 5 bars = 4.922 Kg/cm^2 (70 lb/Pulg^2), que es la presión máxima que soporta el vidrio de la mirilla, ver tabla 11.

$$P_d = 1.2 P_{\text{max. op.}}$$

$$P_d = 1.2 (70 \text{ lb/Pulg}^2) = 84 \text{ lb/Pulg}^2$$

Usando la ecuación 25 se calcula el espesor.

$$t = (4.016 \text{ Pulg}) \sqrt{\frac{(0.3 \times 64 \text{ lb/Pulg}^2)}{(17,500 \text{ lb/Pulg}^2 \times 1)}} = 0.154 \text{ Pulg} = 3.971 \text{ mm}$$

El espesor supuesto es satisfactorio para la tapa, ya que el sistema es controlado.

3.5.7.5 Requisitos de diseño de orificios en tapas planas.

Las aperturas sencillas en recipientes que no estén sujetas, a rápidas fluctuaciones de presión, no necesitan refuerzo adicional al inherente en la construcción, siempre que cumpla con las condiciones siguientes.

- 76 mm (3 Pulg) de diámetro nominal de tubo. En envolventes de recipientes o cabezas cuyo espesor de pared sea de 9.5 mm (0.375 Pulg) o menor.
- 51 mm (2 Pulg) de diámetro nominal de tubo. En envolventes de recipientes o cabezas cuyo espesor de pared sea mayor de 9.5 mm (0.375 Pulg).
- Conexiones roscadas, atornilladas o fijadas por expansión en las que los agujeros en el envoltente o cabeza no excedan de 51 mm (2 Pulg) de diámetro nominal de tubo.

3.5.7.6 Longitud del mínimo del cuello exterior para los orificios.

- No existe ninguna longitud mínima del cuello exterior para las aberturas integrales rebordeadas, pero no mayores de 152 mm (6 Pulg).

3.5.8 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

- La designación del sistema de refrigeración para el reactor E, se tomo en base a los siguientes incisos, Debido a que no existen datos precisos sobre transferencia de calor por las anteriores investigaciones y por ser un equipo de laboratorio, donde se controla el medio.

3.5.8.1 Condiciones que presenta al reactor E.

- De los reportes presentados por los investigadores, el hollín se debe condensar a temperatura constante en la camara de vacío.

3.5.8.2 Serpentina.

- El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más baratos de obtener superficies para transferencia de calor.
- Generalmente, se construyen doblando longitudes variables de tubería de cobre, acero o aleaciones, para darle forma de hélices, o serpentines helicoidales dobles en los que la entrada y salida están convenientemente localizadas lado a lado.
- Los serpentines helicoidales de cualquier tipo se instalan frecuentemente en recipientes cilindricos.
- Otro tipo de serpentín es el de espiral plano, que es un espiral enrollado en un plano de manera que se puede localizar cerca del fondo de un recipiente para transferir calor por convección libre.

3.5.8.3 Tubo de cobre tipo K.

Se usa en líneas subterráneas de gas, petróleo y agua, y para sistemas de plomería y calefacción exterior. Tiene una pared gruesa. Se suministra como cobre duro y suave. Se puede doblar en frío. Se tomo un tamaño nominal de 12.7 mm (1/2 Pulg).

3.5.8.4 Coeficiente en los tubos.

Correcciones precisas no son importantes, ya que en muchos casos es costumbre usar en los tubos agua fría o vapor, cualquiera de los cuales es controlante. La transmisión de calor no puede tener lugar sin que exista una diferencia de temperatura.

3.5.8.5 Beneficios del sistema de refrigeración.

De los beneficios de que se obtendrán con un serpentín como medio de enfriamiento en el reactor E, son los siguientes:

- Actuando conjuntamente con los sistemas de alimentación y fusión, aumentar el rendimiento del reactor para la obtención del grafito, en menor tiempo.
- Disminuir al mínimo tanto el mantenimiento preventivo y/o correctivo a las diferentes partes que complementan al reactor E.
- Se crea con este mismo una superficie dentro del reactor donde se condense en mayor cantidad el hollín.
- Crear un medio adecuado de trabajo cómodo y seguro para las personas que lo utilicen.

3.6 PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

3.6.1 REQUISITOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL POR NEUMÁTICA

3.6.1.1 Teoría de la neumática.

Dentro del mundo de la neumática, sin menoscabar su importancia, utilizaremos un principio básico de la misma.

$$P = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (26)$$

Donde:

P = Presión Kg/cm² (bar).

F = Fuerza Kg.

S = Superficie cm².

T = Temperatura °C.

V = Volumen cm³.

A temperatura (T) y volumen (V) constante.

3.6.1.2 Razones para utilizar la neumática.

- Intrínsecamente a prueba de explosión.
- Fluido de potencia disponible (aire).
- Fluido almacenable.
- Seguro.

3.6.1.3 Consideraciones sobre el proyecto de mandos neumáticos.

Es imperativo adaptar los mandos neumáticos normalizados a los elementos mecánicos que sustituyan, como pueden ser las palancas, los engranajes, etc., haciendo una primera estimación de cada problema, a fin de averiguar la rentabilidad del sistema que se quiere imponer y comparar costos con resultados.

En cualquier caso, un estudio meditado sobre el problema a resolver invita a gestionar diferentes soluciones que pueden competir en solventar el proceso de trabajo en el cual estamos involucrados.

3.6.1.4 Orientaciones para el proyecto.

A continuación se expone un esbozo de operaciones, dentro de los límites a que las circunstancias obligan.

Al intentar el establecimiento de las condiciones de un proyecto, conviene analizar:

- a) Planteamiento. Se definen las funciones requeridas.
- b) Equipo mecánico. Estructura del trabajo a realizar.
- c) Análisis del movimiento. Se establece el tipo de movimiento a realizar. Por ejemplo : movimiento de aproximación, movimiento de avance (rápido, lento, etc.).
- d) Preparación del plano de posiciones. Deben esquematizarse en un plano las posiciones que se piensa adoptar para la automatización. Ello dará una idea general sobre las circunstancias existentes.
- e) Averiguación de las condiciones límites. Por ejemplo :

influencia del ambiente, condiciones de arranque, condiciones de seguridad, condiciones de instalación, etc.

- f) Determinación del tipo de mando. Es decir, si conviene un mando programado (mando del plan temporal) o un mando de sucesión (mando del plan de recorrido, mando del desarrollo, etc.).
- g) Dibujo del diagrama de secuencia. Cuando se desea representar una determinada secuencia, es preciso distinguir entre diagrama de movimiento y diagrama de mando, pues el resultado de ello es el diagrama de funcionamiento.
- h) Exposición del plano del circuito. Los equipos neumáticos se representan mediante símbolos sin texto, los cuales pueden leerse internacionalmente.
- i) Selección de los equipos adecuados. Para conseguir el desarrollo correcto del funcionamiento, el plano del circuito debe determinar la situación de los elementos neumáticos dentro del contexto general del circuito proyectado.

En el primer caso, hay que atender, básicamente, a las fuerzas de accionamiento y a los recorridos, teniendo en cuenta el tipo de servicio y las condiciones de montaje. En el segundo caso, la precisión de servicio y el tamaño de los elementos se acomodan a las necesidades de fuerza o de velocidad por parte de las cargas.

3.6.2 APOYOS AISLADOS.

- Uno de los puntos que es necesario incluir en el diseño de las partes a que hace referencia este inciso, para cada elemento que los contemple.

3.6.2.1 Flecha conductora móvil.

- Datos requeridos.

$$D = 8 \text{ mm} = 0.315 \text{ Pulg.}$$

$$L = 40 \text{ mm} = 15.748 \text{ Pulg.}$$

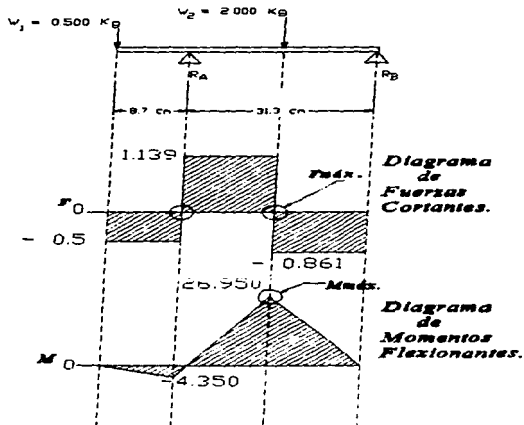


FIGURA 12. D.C.L de la flecha móvil.

D.C.L (Diagrama de cuerpo libre), obtenemos las sumatoria de fuerzas en Y y sumatoria de momentos para así poder trazar los diagramas correspondientes.

$$\sum M_A = 0 = (0.5 \text{ Kg})(8.7 \text{ cm}) - (2 \text{ Kg})(15.650 \text{ cm}) + R_B(31.3 \text{ cm})$$

$$\therefore R_B = \frac{-4.350 + 31.300}{31.300} = 0.861 \text{ Kg}$$

$$\sum F_y = 0 = -0.5 \text{ Kg} + R_A - 2 \text{ Kg} + 0.861 \text{ Kg}$$

$$\therefore R_A = 2.500 \text{ Kg} - 0.861 \text{ Kg} = 1.639 \text{ Kg}$$

• Calculando el esfuerzo de diseño.

$$\tau = \frac{MC}{I} = \frac{32 N}{n D^3} \dots\dots\dots (27)$$

M = Momento flector máximo.

τ = Esfuerzo de diseño.

Del D.C.L obtenemos, $M = W L$.

W = Peso del cuerpo en Kg.

L = Longitud en cm.

Calculando el esfuerzo de diseño con la ecuación 27.

$$\tau = \frac{(32)(26.950 \text{ Kg-cm})}{(\pi)(0.8 \text{ cm})^3} = 536.153 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

El resultado anterior del esfuerzo de diseño no es grande para ser tomado en cuenta para el diseño de la flecha conductora móvil por estar fabricada con cobre que tiene el esfuerzo máximo de 3860 kg/cm².

3.6.2.2 Flechas conductora fija.

- Para calculos de la flecha conductora fija, ver el inciso 3.7.1.1.

3.6.3 BENEFICIOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

De todo lo anteriormente visto se considera que este sistema tiene como beneficios:

- Hacer más continua la producción.
- Tener pleno control del desplazamiento por medio de un actuador neumático de la varilla de grafito sujeta por la flecha conductora móvil.

Que son los puntos que en la actualidad entorpecen la obtención eficiente de la materia prima que genera los fullerenos.

3.7 PROCEDIMIENTO Y CALCULO DEL SISTEMA DE FUSIÓN.

El sistema de fusión es el corazón de nuestro reactor a continuación estableceremos las partes que lo constituyen y el diseño de las mismas.

3.7.1 PARTES MECÁNICAS (APOYOS AISLADOS).

3.7.1.1 Flecha conductora fija.

- Datos requeridos.

- D = 8 mm = 0.315 Pulg.
- L = 191 mm = 7.520 Pulg.
- W = 0.500 Kg aproximado.

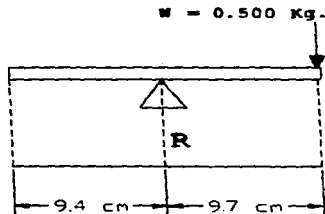


FIGURA 13. D.C.L de la flecha fija.

Como la flecha es sometida a flexión se hace uso de la ecuación 27.

$$\tau = \frac{MC}{I} = \frac{32 M}{\pi D^3}$$

Del D.C.L (Diagrama de cuerpo libre), obtenemos, $M = W L$.

W = Peso del cuerpo en Kg.

L = Longitud en cm.

Por lo tanto sustituyendo valores en la ecuación tenemos.

$$\tau = \frac{(32)(9.7 \text{ cm})(0.5 \text{ Kg})}{(\pi)(0.8 \text{ cm})^3} = 96.488 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

De el resultado obtenido se deduce que el esfuerzo de diseño no se consideraría para el diseño de la flecha por ser muy pequeño y la barra propuesta es adecuada ya que el esfuerzo máximo para el cobre es 3860 Kg/cm².

3.7.2 ALIMENTACIÓN DE LA CORRIENTE PARA GENERAR EL ARCO.

La alimentación de la corriente se ha ce por medio de una fuente de poder llamada planta de soldar.

3.8 PIEZAS NO CALCULADAS PARA SU DISEÑO.

Las siguientes piezas no se realizaron los cálculos correspondientes debido a que en ellas se generaban esfuerzos muy pequeños para ser tomados en cuenta en su diseño esto se muestra en

las piezas calculadas en el inciso 3.7.1.1.

- Flechas guías (sistema de alimentación).
- Dispositivo sujetador de la varilla de grafito (sistema de alimentación y de fusión).
Tubo sujetador, Redondo roscado externo, Redondo roscado interno, Pinza y Resorte.
- Sujetador izquierdo (sistema de vacío y de fusión).
- Sujetador derecho (sistema de vacío, alimentación y de fusión).
- Sujetador guía (sistema de alimentación).

3.9 DISEÑO DE SOPORTES.

3.9.1 SOPORTE O SILLETA DEL REACTOR E.

- Datos requeridos.

$$A = 0.8 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} = 4.8 \text{ cm}^2.$$

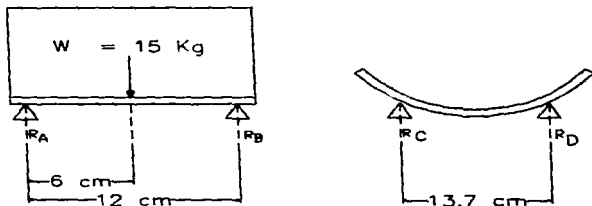


FIGURA 14. D.C.L de la silleta.

Del D.C.L (Diagrama de cuerpo libre) hacemos lo siguiente:

$$\odot \sum M_A = 0 = (15 \text{ Kg})(6 \text{ cm}) + R_B (12 \text{ cm})$$

$$\therefore R_B = \frac{15 \times 6}{12} = 7.500 \text{ Kg}$$

$$\uparrow (+) \sum F_x = 0 = -15 \text{ Kg} + R_A - 7.5 \text{ Kg}$$

$$\therefore R_A = 15 \text{ Kg} - 7.5 \text{ Kg} = 7.5 \text{ Kg}$$

Como las fuerzas que actúan son normales el esfuerzo que se genera es el mismo para los cuatro apoyos mostrados en el D.C.L.

$$\tau = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (28)$$

$$\tau = \frac{15 \text{ Kg}}{4.6 \text{ cm}^2} = 3.125 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Pero como son cuatro apoyos el resultado anterior se divide entre cuatro $\tau = 0.781 \text{ Kg/cm}^2$.

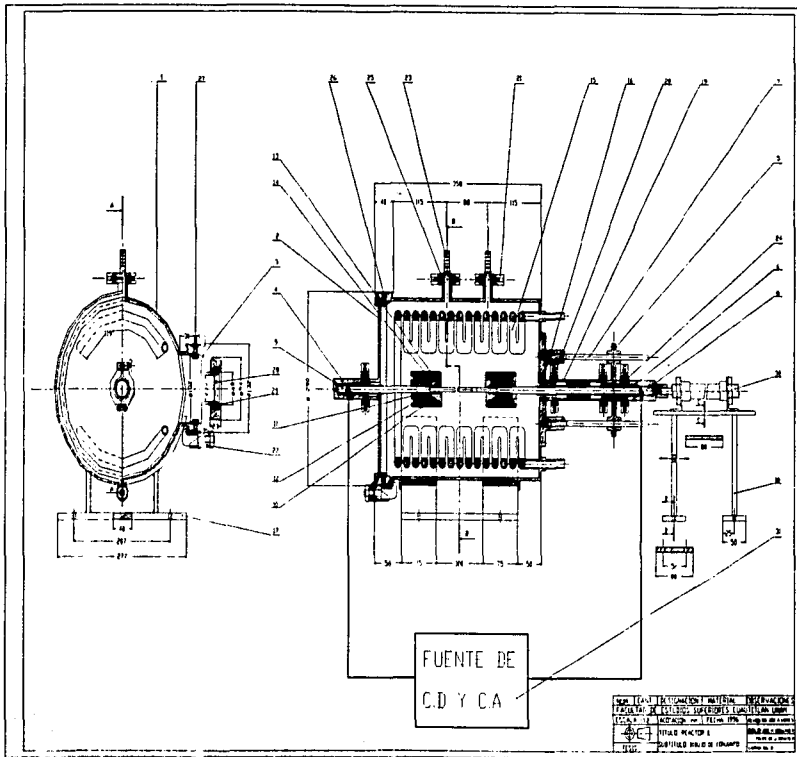
3.9.2 SOPORTE DEL CILINDRO NEUMÁTICO.

- El calculo del soporte del cilindro neumático, no se realiza ya que no es una carga considerable la de este elemento.

3.10 ANALISIS DEL DISEÑO PROPUESTO.

- De los estudios realizados se ha establecido que teniendo una mejor característica de vacío el material se afina, a lo largo del presente nos hemos avocado hacer óptimo el sistema de vacío.
- De los estudios realizados la implementación del sistema de alimentación, es una alternativa para mantener una producción continua y de calidad del producto, todo esto complementado con un
- Las implementaciones de nuestro diseño son desde el punto de vista técnico viables y no incrementa en una forma notable el costo el costo del reactor.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
 LABORATORIO DE MÁQUINAS Y MOTORES
 DISEÑO DE MÁQUINAS Y MOTORES
 DISEÑO DE MÁQUINAS Y MOTORES
 DISEÑO DE MÁQUINAS Y MOTORES

31	1	FUENTE DE PODER	---	COMERCIAL
30	1	CILINDRO NEUMÁTICO	ISO-6431	PAE-A123225
29	1	EMPAGUE CIRCULAR	NBR/PPM	DN = 40 KF, TAB. 12
28	1	MIRILLA	BORGSILOCATE	DN = 40 KF, TAB. 11
27	1	ARO CON EMPAQ. CIRCULAR	A1, NBR	DN-ISO-K100, TAB. 10
26	1	ARO CON EMPAQ. CIRCULAR	A1, NBR	DN-ISO-K250, TAB. 10
25	2	ARO CON EMPAQ. CIRCULAR	ACERO 1.4305, NBR/PPM	DN = 10' KF, TAB. 9
24	4	ARO CON EMPAQ. CIRCULAR	ACERO 1.4305, NBR/PPM	DN = 25 KF, TAB. 9
23	2	BOQUILLA CON PESTAÑA	A1	DN = 10 KF, TAB. 8
22	12	GRAPA PARA FEST. ISO-K	ACERO CROMÁTICO	DN-ISO-K63, TAB. 7
21	2	MORDAZA CIRCULAR	A1	DN = 10/16 KF, TAB. 6
20	4	MORDAZA CIRCULAR	A1	DN = 20/25 KF, TAB. 6
19	1	TUBO FLEX. CON FEST.	ACERO 1.4571	DN = 25 KF, TAB. 5
18	1	SOPORTE DEL CIL. NEUM.	SA-283 GRADO D	COMERCIAL
17	1	SOPORTE O SILLETA	SA-283 GRADO D	COMERCIAL
16	2	AISLANTE	POLIETILENO ALTA DENS.	COMERCIAL
15	1	SERPENTIN	TUBO DE COBRE TIPO K	COMERCIAL
14	2	RESORTE	Cu Be 2 NF A 47-301	ENROLLADO EN FRIO
13	2	PINZA	Cu Pb 1 Def. en frio	TORNEADO, FRESADO
12	2	REDONDO ROSCADO INT.	A-5	TORNEADO
11	2	REDONDO ROSCADO EXT.	A-5	TORNEADO
10	2	TUBO SUJETADOR	A-5 10 G	MOLDEADO
9	1	FLECHA CONDUCT. FIJA	Cu/a2 Def. en frio	TORNEADO
8	1	FLECHA CONDUCT. MÓVIL	Cu/a2 Def. en frio	TORNEADO
7	2	FLECHAS GUIAS	SA-36	TORNEADO
6	1	SUJETADOR IZQUIERDO	SA-181 CLASE 60	MOLDEADO
5	1	SUJETADOR GUIA	SA-181 CLASE 60	MOLDEADO
4	1	SUJETADOR DERECHO	SA-181 CLASE 60	MOLDEADO
3	1	TAPA DEL CUELLO DE ENV.	SA-181 CLASE 70	MOLDEADO
2	1	TAPA DEL ENVOLVENTE	SA-181 CLASE 70	MOLDEADO
1	1	ENVOLVENTE	SA-181 CLASE 70	MOLDEADO
No.	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN				U.N.A.M
Escala: 1 : 2		Acot. en: mm	Fecha: 1996	Revisó: Ing. J. A. Lopez
		TITULO: REACTOR E.	Dibujó: Jose M. Arellano Felipe de J. Serrano	
TESIS		SUBTITULO: LISTA DE PARTES.		Lamina No. 1

CONCLUSIONES

Dentro del campo de la carrera de INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA, se plantea el desarrollo de nuevos diseños, que respondiendo a las necesidades de la investigación para el desarrollo de nuevas tecnologías. Es el caso del presente trabajo ya que éste considera el desarrollo y diseño del reactor para la fusión de grafito por medio de arco eléctrico en condiciones de vacío.

En base al presente trabajo que involucra un alto grado de investigación y acervo documental, por ser parte de recientes investigaciones del tema fullerenos.

El diseño mismo esta involucrando diversas áreas debido que para poder ser parte de una nueva innovación, comparando con los reactores anteriores se dividió en tres sistemas, los cuales son:

- Sistema de vacío.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de fusión.

Todos estos basados en el código ASME - VIII principalmente para diseñar el sistema de vacío. Involucrando así de esta manera a las áreas de Ingeniería, Mecánica, Electrónica, Eléctrica, y Neumática, de esta manera los resultados obtenidos por esta investigación presenta que el nuevo diseño es más eficiente en cuanto a productividad y calidad teniendo como consecuencia, aumento de velocidad en el proceso de intercambio de materia prima (varillas de grafito), que corresponden al diseño de la cámara de vacío (envolvente), de sujetadores de grafito, tapa donde se monta la mirilla.

Con el sistema de alimentación y fusión se tiene mayor tiempo de funcionamiento complementado por un serpentín que enfría el medio de la cámara de vacío, para conseguir el fin mencionado, por lo que el equipo necesita un mantenimiento correctivo y preventivo reducido y optimización de este por encontrarse vinculado con otros equipos requeridos.

Con respecto a costos comparado mencionados por empresas del ramo, el diseño es más costeable.

Del material obtenido las aplicaciones más notables encontradas hasta el momento son la producción de superconductores, aleaciones con otros materiales para hacerlos más resistentes.

Dando un análisis del presente trabajo es importante mencionar que se llegó al diseño del reactor pretendido como una primera fase, esto forma la base para la construcción que es el segunda fase en la cual se buscara complementar este diseño y como tercera fase se pretende la de afinación del reactor construido mediante pruebas que se le realicen al mismo, para así hacerlo funcional.

No obstante, el presente trabajo de investigación considera que este no concluye aquí, ya que por involucrar tanto a la segunda como tercera fase del reactor E y como parte de los sistemas de fusión y alimentación quedan incluidas otras áreas se requiere de la participación de un conjunto de personas que se dediquen al diseño y desarrollo de las secciones faltantes o modificaciones del mismo, para mejorar o complementar esta tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Revista Ciencia/Desarrollo, CONACYT, Vol. XIX, No. 113, Noviembre/Diciembre 1993, pp. 22-30.
- 2) Kroto et. al, Taylor, Ajie , Revista Science/Technology, 16 Diciembre 1991, pp. 17-20.
- 3) Howart et. al, Revista J. Phys. Chem., Vol. 96, No. 17, 1992, pp. 6866-6869 , 6869-6871.
- 4) Chivante et. al, Revista J. Phys. Chem., Vol. 97, No. 34, 1993, pp. 8701-8702.
- 5) Revista J. Phys. Chem., Vol. 94, No. 24, 1990, pp. 8630-8633, 8634-8636.
- 6) Revista J. Chem. Phys., Vol. 177, No. 4,5., 1991, pp. 394-395.
- 7) Revista J. Org. Chem., Vol. 56, No. 14, 1991, pp. 4543-4545.
- 8) Revista J. Am. Chem. Soc., Vol. 113, No. 20, 1991, pp. 7499-7503.
- 9) Code, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, and Internationally Recognized Code, section VII y VIII (Rules for construction of pressure vessels)", Edit. ASME (The American society of Mechanica engineers), 1992.

- 10) Petroleos Mexicanos Norma para proyectos de obras, Norma No. 2.343.01, "Diseño de recipientes a presión"; Edit. PEMEX , Segunda edición 1991. Primera y segunda parte.
- 11) Eugene F. Meggesy., "Manual de Recipientes a Presión Diseño y Cálculo", Edit. LIMUSA.
- 12) Ruiz Rubio Carlos., "Proyecto y Construcción de Recipientes a Presión", Edit. BILBAO URMO.
- 13) Becerra Hector J., Abrajan Raúl H., "Diseño de recipientes de proceso", Edit. TALLERES DE OFFSET AZTECA, México 1985.
- 14) Ramón Fernando Boix., "Circuitos Neumáticos, Eléctricos e Hidráulicos", Edit. ALFAOMEGA.
- 15) Luis Jiménez de Cisneros Doctor de Ing., "Manual de Neumática", Edit. BLUME.
- 16) E. Carnicer Royo., "Aire Comprimido Neumática Convencional", Edit. G. G.
- 17) Thomas W. Frankland, "Manual de tubería comercial", Edit. LIMUSA, pp. 164.
- 18) B. V. Karlekar, R. M. Desmond, "Transferencia de calor", Segunda edición, Edit. MCGRAW-HILL.
- 19) Donald Q. Kern, "Proceso de transferencia de calor", Edit. CECSA.
- 20) James R. Welty, "Transferencia de calor aplicada a la ingeniería" Edit. LIMUS.

- 21) Catalog HV 250, Section 7, MEISA, "Vacuum Fittings and Leadthroughs", Edition 01/91, Printed in the Republic of Germany.
- 22) Catalog HV 350, Section A10, MEISA, "Vacuum Fittings and Feedthroughs", Edition 08/94, Printed in Germany.
- 23) Catálogo Telemecanique, "Componentes de automatismos neumáticos", Marzo 1993, Imprime: Realizaciones HERA, S.A.
- 24) Catalog Telemecanique, "Total Pneumatic and Electro-Pneumatic automation", July 1989, IPM. Watelet-Arbelot.
- 25) A. Chevalier, "Dibujo Industrial", Edit. NORIEGA UTEHA, Segunda Edición 1992.

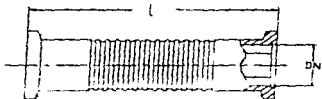
APÉNDICE
TABLAS Y GRÁFICAS

Tipo de acero	Inglaterra	Francia	Alemania	Italia	Suecia	E.U.A.
Acero al carbon	BS-1501-151 Gr. 26 B	A 42 C2 FN A36 205	DIM 17155 H 11	Fe 42-1 UNI 5869	SIS 1430	ASTM A 285-C
Acero al C-Mn alta resistencia	BS-1501-221 Gr. 32 B	-	DIN 17155 19 mN 5	-	-	ASTM A 515-70
Acero al C-Mn alta resistencia	BS-1501-224 Gr. 32	A 52 P2 FN A36 205	HSB 50; BH 36 k	Fe 52 UNI 5869	SIS 2102	ASTM A 516-7C
C-05Mo	BS-1501-240	-	16 Mo 5 WSN 5423	16 Mo 5 UNI 5869	-	ASTM A 204

TABLA 1. Equivalencia de algunas clasificaciones de materiales de E.U.A. y Europa.

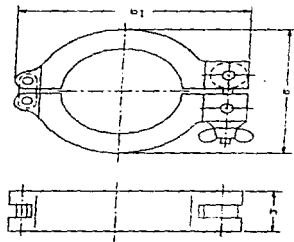
TEMPERATURA	MATERIAL RECOMENDABLE
T > 750 °F	Acero baja aleación Cr-Mo A- 387 C -Mo A- 204
-20< T <750 °F	Acero al carbón A-285-C
-21° a -30 °F	Acero al carbón A-516-70 con prueba de impacto.
-31° a -90 °F	Aceros al níquel (2.5 %) A-203 grados A B y C.
-91° a -150 °F	Aceros al níquel (3.5 %) A-203 grados D y E.
-151° a -325 °F	Aceros Inoxidables.
T < -325 °F	Aceros inoxidables (9 % níquel) tipos 405 y 410.

TABLA 2. Materiales utilizados en recipientes.



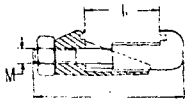
DN			10 KF	16 KF	25 KF	40 KF	50 KF
l = 250 mm	5 bar abs.	Cat. No.	86780	86781	86783	86785	...
l = 500 mm	5 bar abs.	Cat. No.	86790	86791	86793	86795	86796
l = 1000 mm	5 bar abs.	Cat. No.	86800	86801	86803	86805	86806

TABLA 5. Tubo flexible con pestaña (Acero 1.4571).



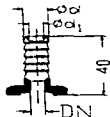
DN		10/16 KF	20/25 KF	32/40 KF	50 KF
b	mm	44	55	70	95
b ₁	mm	62	73	90	123
h	mm	16	16	16	25
	Cat. No.	18341	18342	18343	18345

TABLA 6. Mordaza circular (Al).



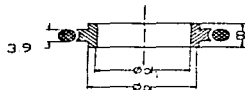
DN ISO-K		63	100	160	250	350	400	500
Número requerido para conexión.		4	4	4	6	6	6	10
Dimensiones M x l,	mm	10x24	10x24	10x24	10x24	16x34	16x34	16x34
l	mm	58	58	58	58	90	90	90
l arreglo = 4 grapas.	Cat. No.	26701	26701	26701	26701	26710	26710	26710

TABLA 7. Grapas para pestaña ISO-K (Acero, cromático, resistente al calor).



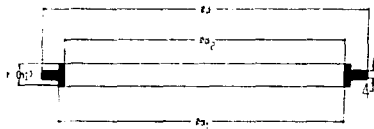
DN		10 KF	16 KF	25 KF	40 KF	50 KF
d	mm	12	12	14	12	12
d ₁	mm	7	7	10	7	7
	Cat. No.	18311	18290	18319	18291	18320
Aluminio						

TABLA 8. Boquilla con pestaña para manguera (Al).



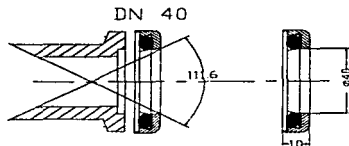
DN		10 KP	16 KP	20 KP	25 KP	32 KP	40 KP	50 KP
d	mm	10	17	22	26	34	41	52
d ₁	mm	102	16	202	25	322	40	502
Al/NBR	Cat. No.	18321	18326	18322	18327	18323	18328	18325
Acero/FFM	Cat. No.	88321	88346	88222	88347	88323	88348	88325

TABLA 9. Aro (Al/Acero 1.4305) con empaque circular (NBR/FFM).



DN ISO-K		63	63	100	100	160	250	350
d	mm	94	94	126	126	177	285	374
d ₁	mm	70	70	102	102	153	261	350
d ₂	mm	66	66	98	98	149	257	344
h	mm	12	-	12	-	12	12	16
h ₁	mm	-	8	-	8	-	-	-
NBR	Cat. No.	26807	-	26808	-	26809	26817	26813
NBR	Cat. NO.	-	26805	-	26806	-	-	-

TABLA 10. Aro (Al) con empaque circular (NBR).



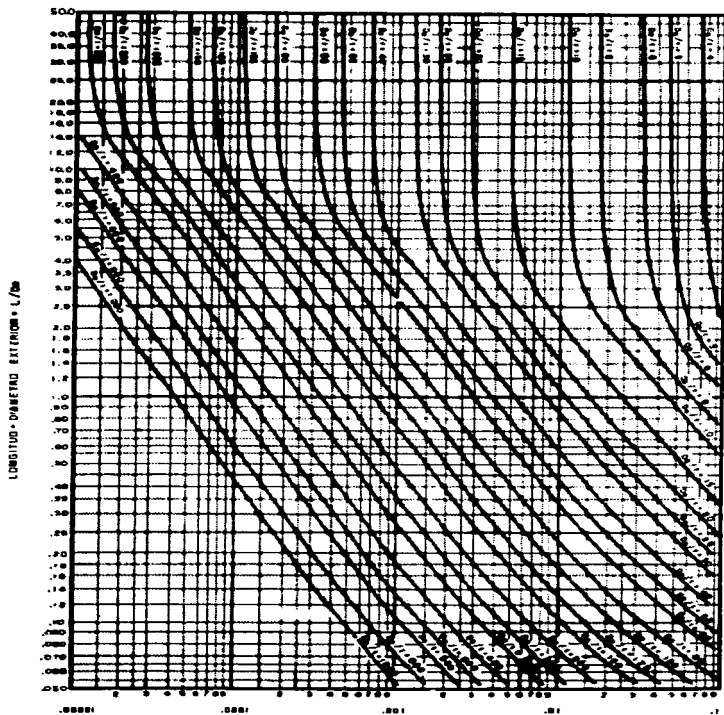
DN		40 KF	50 KF	63 ISO-K
Espesor del vidrio.	mm	4	4	4
Diámetro.	mm	44	53	752
Vista del ángulo de tabulación.	(°)	112	123	66
Máx. Presión.		5 bar abs.	5 bar abs.	1000 mbar
Cat. No.		16929	16930	88995
Ref. No. empaque (pasar a)		23970516	23970504	23970134
Coeficiente de expansión térmico $3.2 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ (20 a 300 $^{\circ}\text{C}$) [68 a 572 $^{\circ}\text{F}$].				
Material de la pestaña: Acero 1.4301				
Material del vidrio: borosilicate				
Material del empaque: FPM				

TABLA 11. Mirilla para sistema de vacío.

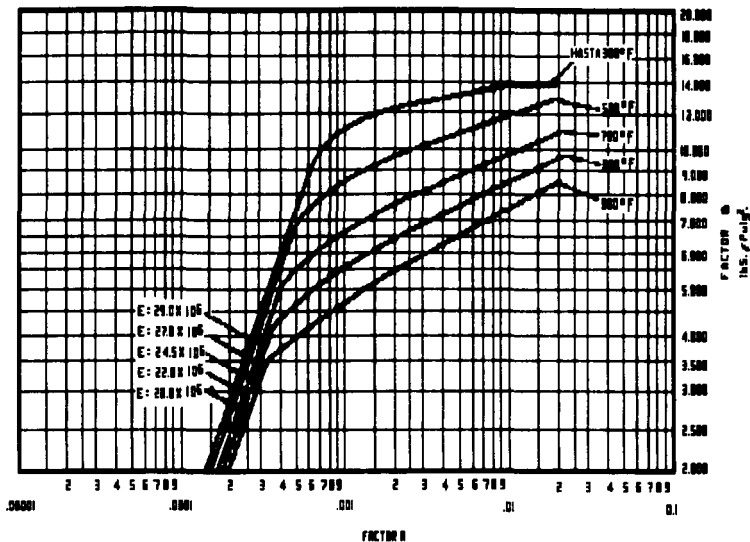


Dn		10 KF	16 KF	20 KF	25 KF	32 KF	40 KF	50 KF	
d	mm	15	18	25	28	40	42	55	
s	mm	5	5	5	5	5	5	5	
NER	Ref. No.						23950115	23950203	
FPM	Ref. No.						23970516	23970504	
EPDM	Ref. No.						20007336	-	

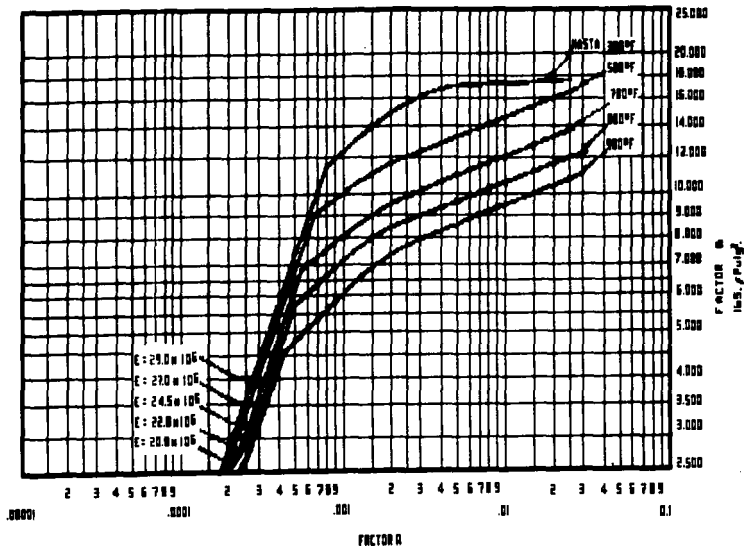
TABLA 12. Empaque circular para conexiones en pestañas.



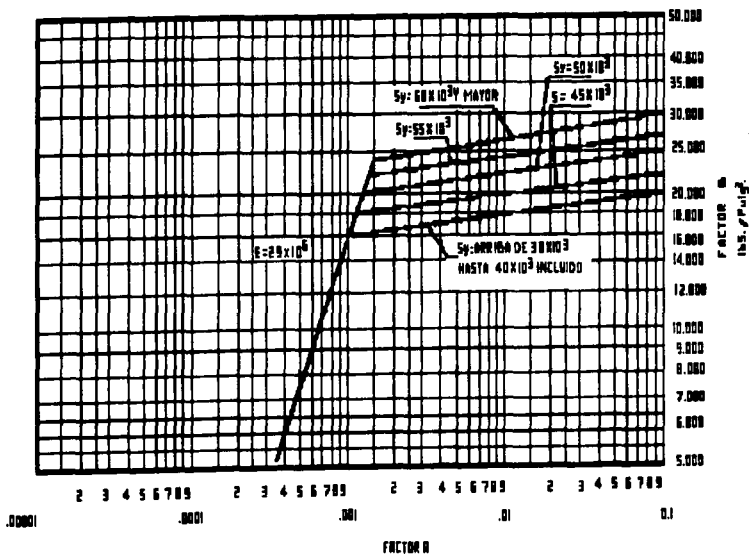
Gráf. 1. Determinación del factor A para recipientes cilíndricos bajo presión externa o cargas de compresión (Para todos los materiales).



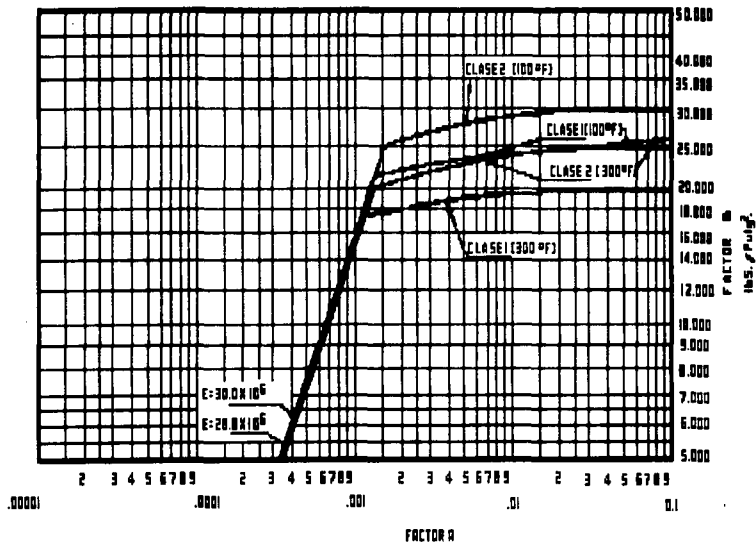
Gráf. 2. Para determinar el espesor de la envolvente de recipientes cilíndricos y esféricos bajo presión externa, que se fabrican con aceros al carbono o de baja aleación (Resistencia a la cedencia mínima especificada hasta 24,000 lbs./Pulg². pero no incluye 30,000 lbs./Pulg².).



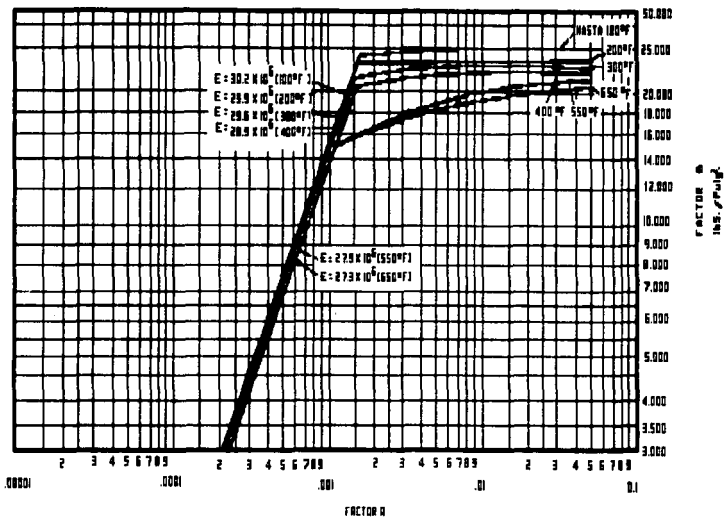
Gráf. 3. Para determinar el espesor de la envoltura de recipientes cilíndricos y esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con aceros al carbono o de baja aleación (Resistencia a la cedencia mínima especificada de 30,000 lbs./Pulg.¹ y mayores, excepto para materiales dentro de estos límites donde se referencian otras cartas especificadas) y tipos 405 y 410 de aceros inoxidables.



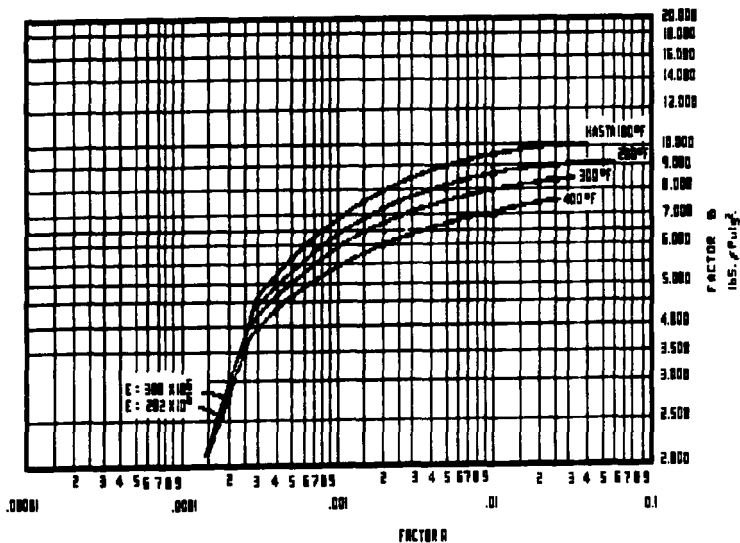
Gráf. 4. Para determinar el espesor de la envolvente cilíndrica o esférica de recipientes bajo presión externa, fabricados de acero al carbono, aceros de baja aleación o aceros con propiedades aumentadas por tratamiento térmico (Resistencia a la tracción mínima especificada arriba de 38,000 lbs./Pulg². para materiales dentro de estos límites cuando no se referencia la gráfica especificada).



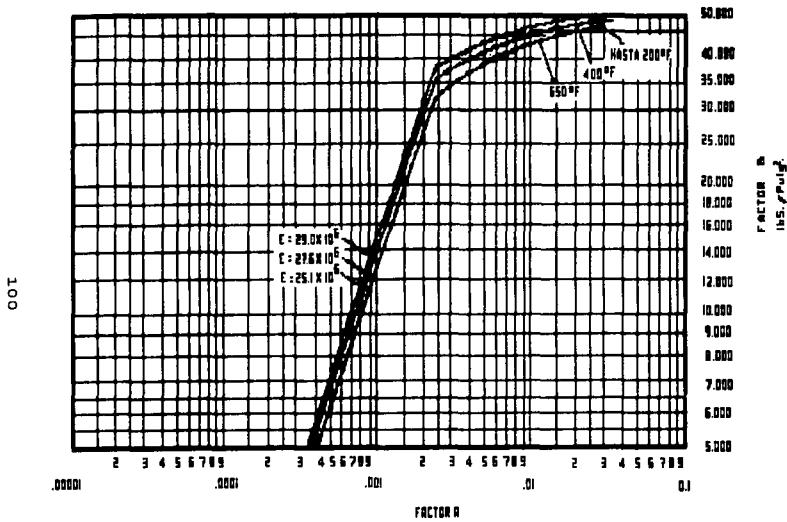
Gráf. 5. Para determinar el espesor de envolventes de recipientes cilíndricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con acero SA-537.



Gráf. 6. Para determinar el espesor de envolventes de recipientes cilíndricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con aceros SA-508 clases 2 y 3, SA-533 clase 1, grados A, B, C y SA-533, clase 2, grados A, B, C y D, o SA-541, grados 2 y 3.

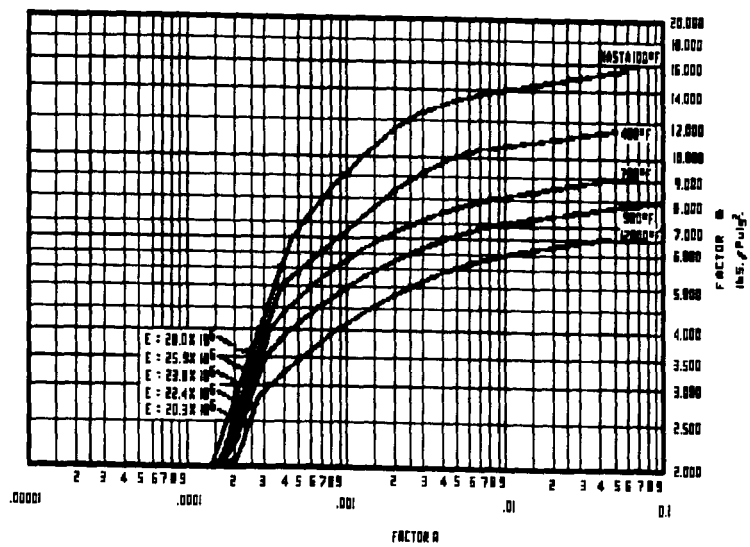


Gráf. 7. Para determinar el espesor de envolventes de recipientes cilíndricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con acero al carbono SA-562 o SA-620.

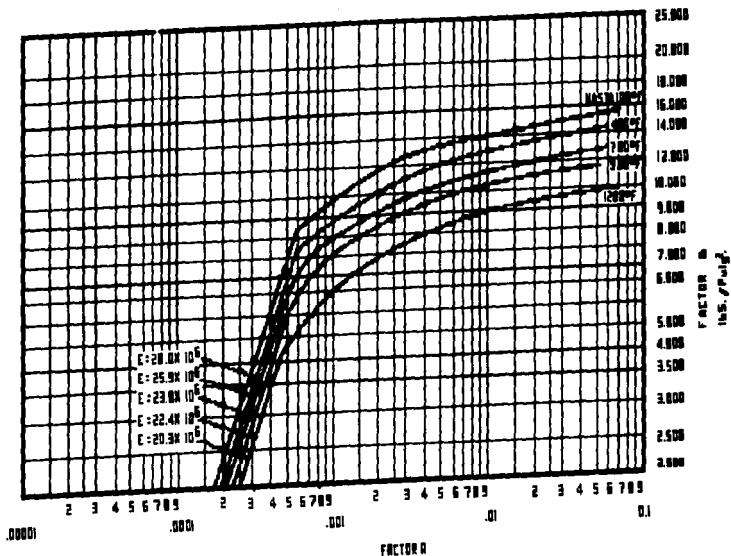


Gráf. 8. Para determinar el espesor de envoltantes de recipientes cilindricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con aceros de baja aleación templados y recocidos, SA-517, todos los grados y SA-592, grados A, E y F, donde L_n 63.5 mm. (2.5 Pulg.).

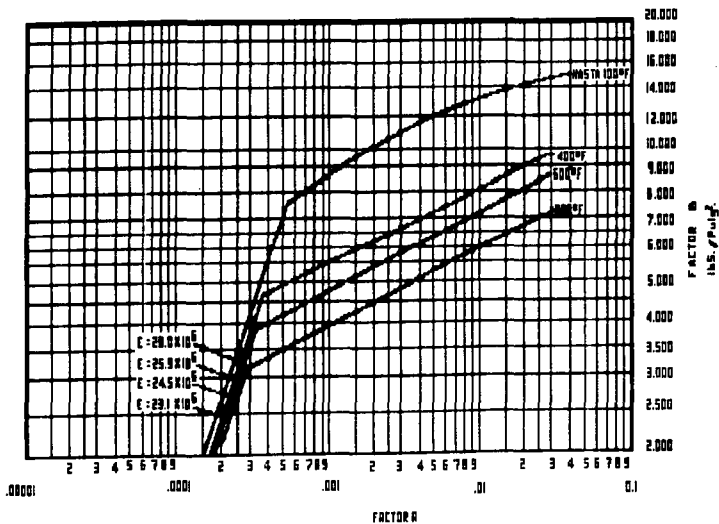
101



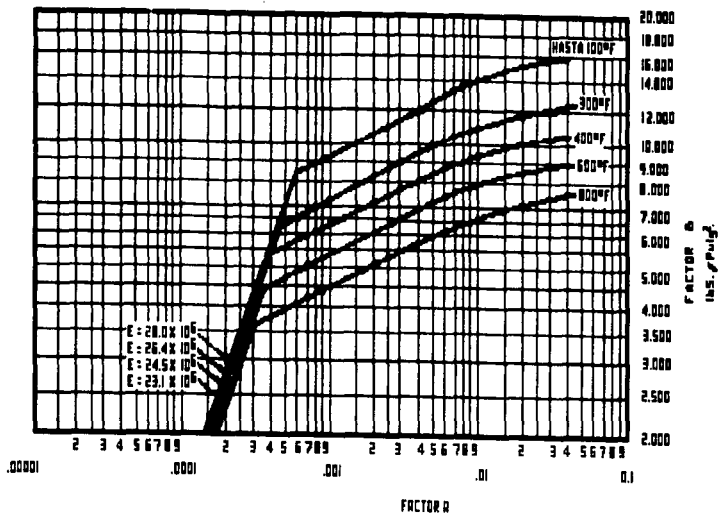
Gráf. 9. Para determinar el espesor de envolventes de recipientes cilindricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con acero austenítico (18 Cr, 8 Ni, tipo 304).



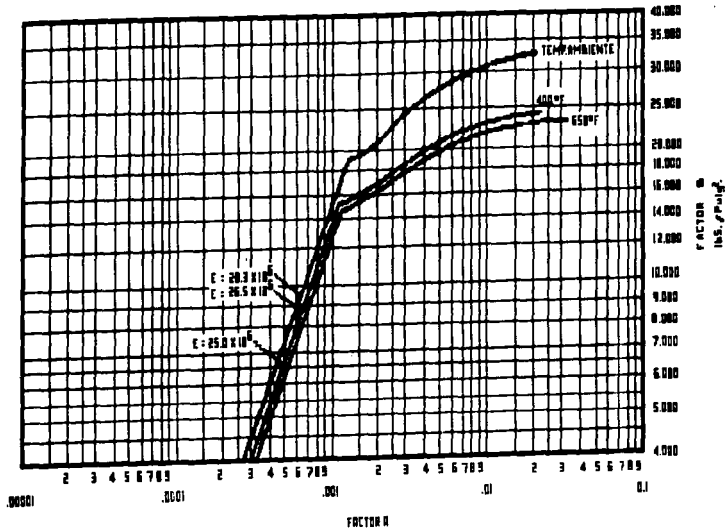
Gráf. 10. Para determinar el espesor de la envolvente de recipientes cilindricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican de acero austenítico (18Cr - 8Ni - Mo, tipo 316; 18Cr - 8Ni - Ti, tipo 321; 18Cr - 8Ni - Nb, tipo 430B de acero inoxidable (Solamente hasta 700 °F).



Gráf. 11. Para determinar el espesor de la envolvente de recipientes cilíndricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican de acero austenítico (18Cr - 8Ni - 0.03 Carbon máx., tipo 304L)



Gráf. 12. Para determinar el espesor de la envolvente de recipientes cilindricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican con acero austenítico (18Cr - 8Ni - Mo - 0.03 Carbono máx.



Gráf. 13. Para determinar el espesor de la envolvente de recipientes cilíndricos o esféricos bajo presión externa, cuando se fabrican de aleación Cr - Ni - Mo (S 31500) SA-669.